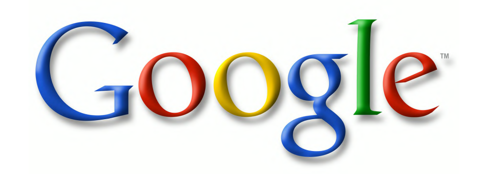
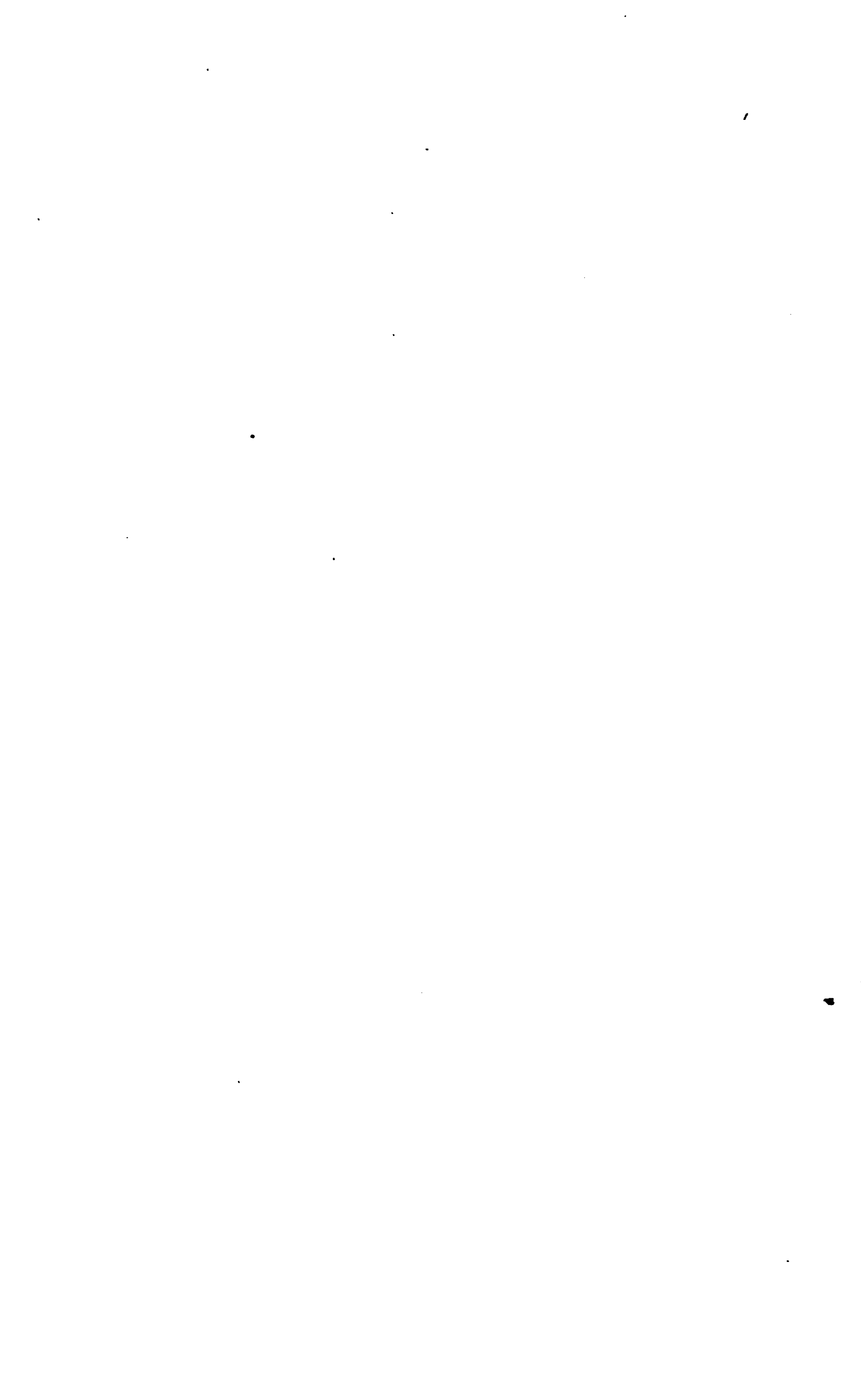






1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING







SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

NOTA. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

2144. — Typ. de GUIRAUDET, place de la Mairie, 2, à Neuilly.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL
DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1862

Paris

RUE BUFFAULT, 26

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER, MARS 1862)

N° 17

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° *Installation des nouveaux membres du bureau et du comité.* (Voir le résumé de la séance du 10 janvier 1862, page 23.)

2° *Recherches sur la forme théorique à donner aux tubes ascensionnels des eaux dans les puits artésiens*, par M. Henri Bertot. (Voir les résumés des séances des 10 et 24 janvier, pages 36 à 46.)

3° *Étude d'un projet d'éducation internationale.* (Voir les résumés des séances des 7 et 21 février, pages 47 et 54.)

4° *Construction du pont de l'Escaut à Audenarde.* (Voir le résumé de la séance du 7 février, page 47.)

5° *Appareils purificateurs des eaux*, communication par MM. Brüll et Tronquoy. (Voir le résumé de la séance du 7 février, page 48.)

6° *Enquête relative à l'industrie métallurgique*, par M. de Bruignac. (Voir le résumé de la séance du 21 février, page 54.)

7° *Mise en feu des hauts-fourneaux*, par M. Dufournel. (Voir le résumé de la séance du 21 février, page 55.)

8° *Débit des puits artésiens*, par M. Dru. (Voir les résumés des séances des 21 février, 7 et 21 mars, pages 57, 62 et 69.)

9° *Conservation des grains par l'ensilage*, par M. Doyère. (Voir le résumé de la séance du 21 mars, page 65.)

10° *Application de l'électricité aux compteurs employés dans l'industrie*, par M. Gallaud. (Voir le résumé de la séance du 21 mars, page 67.)

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° Les numéros de mai, juin, juillet et août des *Annales des Ponts et Chaussées ;*

2° Les numéros des 4e et 5e livrisons des *Annales des Mines ;*

3° De M. Vauthier, membre de la Société, un exemplaire du procès-verbal de la séance du 22 septembre 1861 du *Comité central agricole de la Sologne ;*

4° Les numéros de novembre et décembre 1861, janvier et février 1862, du *Bulletin de la Société d'Encouragement ;*

5° Les numéros de janvier, février et mars du *Bulletin de la Presse scientifique des Deux Mondes ;*

6° Les numéros de janvier, février et mars du journal *The Engineer ;*

7° Du Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics, les 11 volumes publiés sur les *Travaux de la commission française sur l'industrie des nations* (Exposition universelle de 1851) ;

8° De M. Guiraudet, un exemplaire d'un Mémoire sur l'*Irrigation, son influence sur l'agriculture et des moyens d'y pourvoir*, par M. J. A. Grafenbrenk, ingénieur à Java ;

9° Les derniers numéros du *Bulletin de l'Institution of Mechanical Engineer ;*

10° De M. Brüll, membre de la Société, une note *Sur les appareils permettant de recueillir en temps convenable les matières incrustantes des chaudières à vapeur ;*

11° De M. Albaret, membre de la Société, une collection de planches représentant les principales machines construites dans ses ateliers;

12° De M. Lacroix, éditeur, un exemplaire des ouvrages suivants:

Cours de construction, par Demanet;

Portefeuille des principaux appareils, machines, instruments, par Chaumont;

Tables donnant en mètres cubes les volumes de terrassements dans les déblais et remblais des chemins de fer, canaux et routes, par Hugues;

Traité pratique de boulangerie, par Boland;

Éléments théoriques et pratiques de la filature du lin et du chanvre, par Choimet;

Etudes sur les voies de communication, par Teisserenc;

Cours complet de topographie et de géodésie, par Benoît;

Traité sur l'art de faire de bons mortiers, par Rancourt;

Rapport adressé à M. le Ministre des Travaux publics sur les travaux publics en Belgique et les chemins de fer en France, par Teisserenc;

Manuel calculateur du poids des métaux, par Van Alphen;

Traité de l'éclairage, par Péclet;

Considération chimique et pratique sur la combustion du charbon, par Williams;

Code des chemins de fer, par Cerclet;

Etude sur la navigation, par Bouniceau;

Moyens financiers (précis sur les chemins de fer de la France), par Cronier;

Traité de la perception des droits de navigation et de péage, par Granger;

De l'organisation légale des cours d'eau, par Dumont;

L'art du briquetier, par Challeton;

Dictionnaire des analyses chimiques, par Violette et Archambault;

Nouvelles manipulations chimiques, par Violette;

Traité pratique de la construction des chemins de fer, par Adhémar;

Recherches sur la détermination du prix de revient, par Teisserenc;

Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur, par Ortolan;

De la tourbe, étude sur les combustibles employés dans l'industrie, par Challeton;

Eléments des sciences physiques appliquées à l'agriculture, par Pouriau;

Minéralogie usuelle, par Darpier;

Métallurgie pratique, par M. D.

L'art du maître de forges, par Pelouze ;

Précis élémentaire de chimie, par Garnier;

Introduction à l'étude de la chimie, par Liébig;

Nouvelle méthode pour reconnaître et pour déterminer le titre véritable et la valeur commerciale des potasses, des soudes, des cendres, des acides et des manganèses, par M. le D[r] G. W. Bichon ;

13° De M. Desnos, membre de la Société, les numéros de janvier, février et mars du journal *L'Invention;*

14° De M. Fernandez de Castro, ingénieur en chef de première classe du corps royal des Mines d'Epsagne, un exemplaire de son ouvrage *Sur l'électricité et les chemins de fer ;*

15° De M. Ch. Tissier, un exemplaire d'une brochure *Sur l'importance de l'aluminium dans la métallurgie ;*

16° De M. Chavès, membre de la Société, une note *Sur les machines à élever l'eau dans les chemins de fer ;*

17° De M. Bélanger, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, un exemplaire de son ouvrage *Sur la théorie de la résistance de la torsion et de la flexion plane des solides ;*

18° Le numéro de novembre des *Annales télégraphiques ;*

19° De M. Coignet, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage *Sur les bétons agglomérés ;*

20° Le 4[e] bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'agriculture;*

21° Le numéro du 2[e] semestre 1861 des *Mémoires de la Société d'agriculture, des sciences et belles-lettres* du département de l'Aube ;

22° Les numéros de janvier et février du bulletin de la *Société industrielle de Mulhouse;*

23° De M. Dallot, membre de la Société, une *Note sur l'Accident arrivé le 16 janvier à New-Hartley-Colliery;*

24° De M. Eugène Rendu, inspecteur général de l'instruction publique, un exemplaire d'une *Note sur la Fondation d'un collége international à Paris, à Rome à Munich et à Oxford;*

25° De M. Barrault Alexis, membre de la Société, un exemplaire du rapport de M. Couche sur l'*Emploi de la houille dans les locomotives et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck;*

26° Les numéros de janvier, février et mars des *Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées;*

27° De M. Oppermann, le numéro de janvier et février de l'*Album pratique de l'art industriel;*

28° De M. Desgranges, membre de la Société, une *Note sur le service du Semmering;*

29° De M. Henri Mathieu, membre de la Société, un dessin d'une nouvelle disposition d'attelage entre le tender et la locomotive;

30° De M. Albaret, agent principal de la Compagnie des Ardennes, un exemplaire d'un *Mémoire sur le calcul des arcs métalliques;*

31° De M. Doyère, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage *Sur la conservation des grains par l'ensilage;*

32° De M. Audiganne, un exemplaire de son ouvrage *Sur les chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans;*

33° Le numéro du *Bulletin de la Société industrielle d'Amiens.*

Les Membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois de janvier :

MM. Du Pré, présenté par MM. Petiet, Mathias (Félix) et Belpaire.
Marcilly (de), présenté par MM. Flachat, Bergeron et Verrine.
Leclerc (Émile), présenté par MM. Flachat, Benoît, Duportail et Verrine.
Fourneyron, présenté par MM. Flachat, Tresca et Peligot.
Laboulaye, présenté par MM. Tresca, Faure et Alcan.
Pihet fils, présenté par MM. Tresca, Faure et Lecœuvre.

MM. Badois, présenté par MM. Tresca, Michelet et Loustau.
Farcot (père), présenté par MM. Tresca, Faure et Flachat.
Farcot (Emmanuel), présenté par MM. Tresca, Faure et Flachat.
Farcot (Abel), présenté par MM. Tresca, Faure et Flachat.

Au mois de mars :

MM. Bianchi, présenté par MM. le général Morin, Tresca et Salvetat.
Birlé, présenté par MM. Perdonnet, Goschler et Jacquin.
Bara, présenté par MM. Perdonnet, Martin (Louis) et Vuigner.
Lippmann, présenté par MM. Degousée père, Laurent et Degousée fils.
Revin, présenté par MM. Tresca, Salvetat et Nozo.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

ANNÉE 1862.

Membres du Bureau.

Président :

M. Tresca ✻ ✻ ✻ ✻, au Conservatoire des arts et métiers.

Vice-Présidents :

MM. Callon (Ch.) ✻, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
Salvetat ✻, à Sèvres. (Manufacture impériale.)
Barrault (Alexis) ✻, rue Moncey, 9.
Forquenot ✻, rue des Prêtres-Saint-Germain-l'Auxerrois, 23.

Secrétaires :

MM. Guillaume, rue de Lancry, 24.
Richoux (Ch.), chaussée des Martyrs, 30.
Tronquoy (Camille), rue du Faubourg-Saint-Denis, 43.
Ermel, rue Montholon, 28.

Trésorier :

M. Loustau (G.) ✻, rue de Saint-Quentin, 23.

Membres du Comité.

MM. Degousée ✻, rue Chabrol, 35.
Yvon-Villarceau ✻ ✻, à l'Observatoire.
Alcan (Michel) ✻, rue Laffitte, 45.
Flachat (E) O. ✻ ✻, rue de Londres, 51.
Nozo (Alfred) ✻ ✻, boulevard Magenta, 159.
Faure (A.) ✻, rue Paradis-Poissonnière, 19.
Laurent (Charles), rue Chabrol, 35.
Vuigner (E.) O. ✻ C. ✻, rue du Faubourg-Saint-Denis, 146.

MM. CHOBRZYNSKI ✻, boulevard Magenta, 157.
PELIGOT (Henri), rue Bleue, 5.
PETIET (J.) O. ✻ ✻ ✻ ✻, rue Lafayette, 34.
ARSON, rue de Bourgogne, 40.
LIMET, rue du Faubourg-Poissonnière, 32.
FARCOT (J. J. Léon), au port Saint-Ouen.
DUBIED, rue de la Victoire, 21.
LOVE, rue de Turin, 4.
PETITGAND, rue Richer, 13.
YVERT (Léon), rue d'Aumale, 26.
ALQUIÉ ✻, rue de Dunkerque, 63.
THOMAS (Léonce) ✻, quai Voltaire, 25.

Président honoraire.

M. PERDONNET (A.) O. ✻ G. ✻ C. ✻ ✻ ✻, à la gare du chemin de fer de l'Est.

Membres honoraires.

MM. BELANGER, ✻ rue d'Orléans, 15, à Neuilly.
MORIN (le général) G. ✻ ✻ ✻, rue Saint-Martin, 292.
PONCELET (le général) G. ✻ ✻ ✻, rue de Vaugirard, 58.

Sociétaires.

MM. ABOILARD, directeur de charbonnage, à Brassac (Puy-de-Dôme).
ACHARD, rue du Cherche-Midi, 99.
ALBARET, constructeur, à Liancourt (Oise).
ALBY, à Turin (Piémont).
ALCAN ✻, rue Laffitte, 45.
ALLÉON, rue Boursault, 15.
ALQUIÉ ✻, rue de Dunkerque, 63.
ANDRY, à Boussu, près Mons (Belgique).
APPERT, rue Royale, 6, à la Grande-Villette.
ARMAN (Lucien) ✻, constructeur, à Bordeaux (Gironde).
ARMENGAUD aîné, rue Saint-Sébastien, 45.
ARMENGAUD jeune, boulevard de Strasbourg, 23.
ARSON, rue de Bourgogne, 40.
ARTUS, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 39.
BADOIS, au Creuzot (Saône-et-Loire).
BALESTRINI, rue Notre-Dame-des-Champs, 82.

MM. Bara, rue de la Villette-Saint-Denis, 23, à Pantin.
Barberot ✻ ✻, rue de la Santé, 75, à Batignolles.
Baret, rue Saint-Lazare, 14.
Barrault (Alexis) ✻, rue Moncey, 9.
Barrault (Émile), boulevard Saint-Martin, 33.
Barroux, à Bar-sur-Seine (Aube).
Barthélemy, quai Voltaire, 3.
Baudouin, avenue de Neuilly, 115.
Baumal, à Sotteville-lès-Rouen (Seine-inférieure).
Beaucerf, à Chambéry (Basse-Savoie).
Beaussobre (de), à Strasbourg (Bas-Rhin).
Bélanger, à Fresnes sur Escaut (Nord).
Bellier, au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
Belpaire, ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).
Benoit-Duportail, rue Trezel, 25, à Batignolles.
Benoist-D'Azy (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
Bergeron, rue de Babylone, 37.
Bergès, rue Saint-Germain-l'Auxerrois, 88.
Bertholomey, à la raffinerie de M. Tutein, à Copenhague (Danemark).
Berthot, rue des Bons-Enfants, 19.
Berton, rue Mademoiselle, 16, à Versailles (Seine-et-Oise).
Bertot, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 10.
Beugniot, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Bévan de Massi, à Madrid (Espagne).
Bianchi, ✻ rue des Postes, 47.
Binder (Jules), rue d'Anjou-Saint-Honoré, 72.
Bippert, cont. del Lauro, 1, à Milan (Italie).
Birlé, rue Lamartine, 7.
Biver ✻, à Saint-Gobain, par Coucy-le-Château (Aisne).
Blard, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Ivry.
Blonay (de), directeur des ateliers de construction de la Reichshoffen, près Niederbronn (Bas-Rhin).
Blondeau, aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire).
Blot (Léon), rue Lavoisier, 3.
Blutel, à Troyes (Aube).
Bois (Victor), place du Havre, 14.
Boitard, à Auffray (Seine-Inférieure).
Boivin, rue de Flandre, 139, à la Villette.
Bonnet (Désiré), à Toulouse (Haute-Garonne).
Bonnet (Félix), rue de Sèvres, 8.
Bordet, à Remilly, par Sombernom (Côte-d'Or).
Borgella, rue Hauteville, 8.
Bossu, à la cristallerie de Saint-Louis, par Goetzembruck (Moselle).

MM. **Boudard** aîné, à Dangu, par Gisors (Eure).
Boudard (Félix-Arthur), à Pont-Rémy (Somme).
Boudsot, à la Chaux-de-Fonds (Suisse).
Bougère, à Angers (Maine-et-Loire).
Bouilhet, rue de Bondy, 56.
Bouillon, rue de Chabrol, 33.
Bourcard, à Guebwiller (Haut-Rhin).
Bourdon ✱, route de Toulon, 158, à Marseille (B.-du-Rhône).
Bourdon (Eugène) ✱, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourgougnon, rue de la Victoire, 43.
Bournique, quai Jemmapes, 280.
Bourset, gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Bousson, rue de Greffulhe, 8.
Boutigny d'Évreux ✱, chimiste, rue de Flandre, 52, à la Villette.
Boutin, place de Saint-Vincent-de-Paul, 2, à Levallois (Clichy).
Boutmy, à Arles (Bouches-du-Rhône).
Branville (de), rue d'Enfer, 83.
Breguet ✱, quai de l'horloge, 39.
Brialmont, aux établissements de M. John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Bricogne ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
Bridel, à Bienne (Suisse).
Brocchi (Auguste), rue Racine, 30.
Brocchi (Charles), rue de Clichy, 61.
Bruère, à Belfort (Haut-Rhin).
Bruignac (de), rue Satory, 46, à Versailles (Seine-et-Oise).
Brunet (de), casa del Exemo sor Bridadier de Ingeniors Posito, à Madrid.
Brull, rue de Moscou, 3.
Buddicom, rue de Lille, 97.
Bureau, rue Joubert, 19.
Burel (Eugène), rue Olivier, 12.
Burt, rue Caumartin, 54.
Busschop, petite rue du Galais, à Dijon (Côte-d'Or).
Cahen, rue d'Abbeville, 3.
Caillé, rue du Cherche-Midi, 83.
Caillet, avenue d'Antin, 37.
Caillot-Pinard, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Calla ✱, rue Lafayette, 11.
Callon ✱, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
Calmette, rue de Vaugirard, 45.
Calrow, rue Ménilmontant, 29.
Cambier, place d'Armes, à Luxembourg (Grand-Duché).

MM. Capdevéille, chez MM. Maze et Voisine, rue des Vertus, 70, à la Villette.
Capuccio, à Turin (Piémont).
Caron, rue Garancière, 7.
Carpentier, rue de Fleurus, 37.
Castel (Émile) ✻, place Roubaix, 24.
Castor ✻, à Mantes (Seine-et-Oise).
Cauvet, boulevard du Temple, 39.
Cavé ✻ (François), place Lafayette, 22.
Cavé (Amable), avenue Montaigne, 51.
Cazalis de Fondouce, à Montpellier (Hérault).
Cazes, à Madrid (Espagne).
Cernuschi, Finalmarina (Piémont).
Chabrier, rue Saint-Lazare, 99.
Championnière, à Monlignon, par Montmorency (Seine-et-Oise).
Champouillon, à la gare du chemin de fer du Nord (Paris).
Chancerel, à Stenay (Meuse).
Charaudeau, rue de l'Arcade, 18.
Charbonnier, rue de Bréa, 24.
Chapelle ✻, boulevard Beaumarchais, 102.
Chaper, rue Buffault, 11.
Charpentier, rue des Lions-Saint-Paul, 5.
Chateau, au port Saint-Ouen.
Chauvel, à Navarre, par Évreux (Eure).
Chavès, inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue Paradis-Poissonnière, 12.
Chéronnet, boulevard Péreire, 124 (Batignolles).
Chevandier, rue de la Victoire, 22, hôtel de la Victoire.
Chobrzynski ✻, boulevard Magenta, 157.
Chollet, à Belfort (Haut-Rhin).
Ckiandi, à Cambrai (Nord).
Clément-Desormes, rue Bourbon, à Lyon (Rhône).
Clervaux (de), directeur des usines de Torteron (Cher).
Coignet, quai Jemmapes, 228.
Coindet, rue de l'Hôtel-de-Ville, 3, au Havre (Seine-Inférieure).
Colladon, à Genève (Suisse).
Conrad, aux travaux des fortifications, à Anvers (Belgique).
Consolat, rue Caumartin, 58.
Coquerel, rue Moncey, 16.
Cordier, rue Caumartin, 26.
Cosyns, à Couillet, par Charleroi (Belgique).
Courlet, à Deluz, près Besançon (Doubs).
Cournerie, à Cherbourg (Manche).
Courras, rue de Vienne, 13.

MM. Courtépée, rue des Francs-Bourgeois, 5.
Courtines (Jacques) ✻, rue Saint-Georges, 9.
Crespin, à Meulan (Seine-et-Oise).
Crétin ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 182.
Cuinat, à Varsovie (Russie).
Daguin (Ernest), rue Geoffroy-Marie, 5.
Dallo, à Montgeron (Seine-et-Marne).
Dambricourt, à Wezernes, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Darblay, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Debauge ✻, cité Gaillard, 1.
Debié, à la papeterie de la Croix-Blanche, à Thiers (Puy-de-Dôme).
Debonnefoy, rue de Madame, 6.
Decaux, boulevard Saint-Jacques, 84.
De Coene, à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse, rue des Martyrs, 47.
De Dion ✻, à Montfort-Lamaury (Seine-et-Oise).
Deffosse, au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, à Valence.
Degousée ✻, rue Chabrol, 35.
Degousèe (Edmond), rue Chabrol, 35.
Dejoly (Théodore), rue Martignac, 1.
Delanney, agent-voyer en chef, au Mans (Sarthe).
Delaporte, à l'usine de Montataire (Oise).
Delattre, rue d'Orléans, 32 (Batignolles).
Delaville-Leroux, directeur des forges d'Imphy (Nièvre).
Delebecque, rue Chabrol, 34.
Demeule, à Elbeuf (Seine-inférieure).
Deligny, Vieille route de Neuilly, 15.
Delom, rue de La Tour-d'Auvergne, 2.
Delon, rue de la Michaudière, 20.
Delonchant, Grande Rue, 26, à Sèvres (Seine-et-Oise).
Delpeche, rue Rambouillet, 2.
Deniel ✻, directeur du chemin de fer de Séville à Cadix, à Séville (Espagne).
Desbrière, rue de La Bruyère, 8.
Desforges, au chemin de fer de Mulhouse (Haut-Rhin).
Desgranges, ingénieur en chef du chemin de fer du Sud, Wollzeil, 788, à Vienne (Autriche).
Desmasures O. ✻, rue Taitbout, 67.
Desmousseaux de Givré, rue de Lille, 79.
Desnos, boulevard Saint-Martin, 29.
Desnoyers, aux forges du Phénix, Ruhrort (Prusse).
Desprès, rue de la Victoire, 90.
Devaureix, rue de Jessaint, 8, à la Chapelle-Saint-Denis.
Devers, rue Saint-Honoré, 267.

MM. D'HAMELINCOURT, rue Neuve-Coquenard, 11 *bis*.
DIARD, rue Saint-Gilles, 11.
DINAN, au Blanc-Pignon, commune d'Auglet, près Biarritz (Basses-Pyrénées).
DOMBROWSKI, à Bar-le-Duc (Meuse).
DONNAY, chef du bureau des études au chemin de fer du Nord, rue Godot-de-Mauroy, 21.
DOUBLET, place Vendôme, 25.
DOYÈRE ✠, boulevard Péreire, 70.
DRU, rue Fénelon, 11.
DUBIED, rue de la Victoire, 21.
DUBOIS, rue de Savy, 1, à Lyon (Rhône).
DUFOURNEL, à Gray (Haute-Saône).
DUGOURD, à Alais (Gard).
DUMÉRY, boulevard de Strasbourg, 26.
DU PRÉ ✠, ingénieur en chef honoraire des ponts et chaussées, à Bruxelles (Belgique).
DURENNE, rue Rougemont, 12.
DUROCHER, rue de la Verrerie, 83.
DUVAL (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Vilaine).
DUVAL (Raoul), directeur des houillères de Rulhe, à Cransac (Aveyron).
EIFFEL, à Cenon-la-Bastide, par Bordeaux (Gironde).
ENGELMANN, en Russie.
ERMEL, rue Montholon, 28.
ESTOUBLON, maître de forges, à Bourges (Cher).
ÉTIENNE, au chemin de fer de Séville à Cadix, à Séville (Espagne).
ÉVRARD, rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).
FALIÈS, Chaussée-du-Maine, 4.
FALLENSTEIN, à Düren, près Aix-la-Chapelle (Prusse).
FARCOT (J. J. Léon), au port Saint-Ouen (banlieue).
FARCOT père, au port Saint-Ouen.
FARCOT (Emmanuel), au port Saint-Ouen.
FARCOT (Abel), au port Saint-Ouen.
FAUCONNIER, avenue Parmentier, 15.
FAURE (Auguste) ✠, rue Paradis-Poissonnière, 19.
FELLOT, rue de Chartres, 18 (Batignolles).
FERNEX (DE), rue de la Ferme-des-Mathurins, 58.
FEROT ✠, rue d'Amsterdam, 15.
FÈVRE, rue et cité Turgot, 5 et 7.
FÈVRE (Henri), rue de Penthièvre, 7.
FIÉVET, à la Chapelle-au-Thiérache (Aisne).
FLACHAT (Eugène) O. ✠ ✠, rue de Londres, 54,
FLACHAT (Adolphe), rue Caumartin, 70.

MM. FLACHAT (Yvan), rue Lavoisier, 1.
FLAUD, rue Jean-Goujon, 27.
FONTENAY (DE), rue du Cherche-Midi, 36.
FONTENAY (Tony), rue des Récollets, 1, à Grenoble (Isère).
FONTENAY (DE) ✻, à Baccarat (Meurthe).
FOREY, à Montluçon (Allier).
FORQUENOT ✻, rue des Prêtres-Saint-Germain-l'Auxerrois, 23.
FORTIN-HERRMANN (Louis), boulevard Montparnasse, 71.
FORTIN-HERRMANN (Émile), boulevard Montparnasse, 71.
FOUCOU, rue Saint-Étienne-du-Mont, 19.
FOURNEYRON ✻, rue Saint-Georges, 52.
FOURNIER, rue de la Ville-l'Évêque, 40.
FOURNIER (A.), boulevard du Chemin de fer, 36, à Orléans (Loiret).
FRESNAYE, à Marenlo, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
FRICHOT, à Pont-Rémy (Somme).
FROMANTIN, rue Bonaparte, 24.
FROMONT, au chemin de fer de l'Est, à Vesoul (Haute-Saône).
FROYER, à Rome (Italie).
FUCHET, rue Mayet, 4.
GAGET, rue Sainte-Croix-de-la-Bretonnerie, 5.
GALLAUD, rue Notre-Dame-de-Lorette, 46.
GANNERON, quai de Billy, 56.
GARNIER (Paul) ✻, rue Taitbout, 16.
GAUDET ✻, à Rive-de-Giers (Loire).
GAUDRY (Jules), ingénieur au chemin de fer de l'Est, rue Saint-Georges, 5.
GAVEAU, chez M. Facundo Chalbaud, négociant à Bilbao, près Bayonne (Espagne).
GAYRARD (Gustave), rue du Dragon, 21.
GÉNISSIEU, rue Saint-Honoré, 155.
GENTILHOMME ✻, quai de la Tournelle, 45.
GEOFFROY, rue de la Nation, 14, à Montmartre.
GERDER, rue Cadet, 7.
GERMAIN, rue Saint-Lazare, 62.
GERMON, rue de Paris, 117, à Belleville.
GÉRONDEAU, rue de l'Ouest, 36.
GEYLER, rue Bleue, 35.
GIBON, à Montataire (Oise).
GIFFARD, avenue Matignon, 3.
GIL (Claudio), à Barcelone (Espagne).
GINGINS (DE) (Olivier), Chaussée-d'Antin, 38.
GIRARD, faubourg Poissonnière, 35.
GISLAIN, rue Lepelletier, 35.
GODFERNAUX, rue de Bruxelles, 20.

MM. Goschler, rue Neuve-des-Mathurins, 48.
Gottschalk, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Gouin (Ernest) ✱, rue de la Chaussée-d'Antin, 19 *bis*.
Goumet, rue du Temple, 118.
Gouvy (Alexandre), aux forges de Hombourg, près Saint-Avold (Moselle).
Grenier (Achille) ✱, ingénieur en chef au chemin de fer Guillaume de Luxembourg (Grand-Duché).
Guérard, au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).
Guérin de Litteau, rue d'Antin, 9.
Guettier, aux fonderies de Marquise (Pas-de-Calais).
Guibal (Théophile), à l'École des mines de Mons (Belgique).
Guibal (Jules), rue Pargaminières, 71, à Toulouse (Haute-Garonne).
Guillaume (Charles), au chemin de fer du Midi, à Toulouse (Haute-Garonne).
Guillaume, rue de Lancry, 24.
Guillemin, à la Péraudette, près Lausanne (Suisse).
Guillemin, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).
Guillet, directeur de l'École professionnelle du Centre, à Ménars (Loir-et-Cher).
Guillon ✱, à Amiens (Somme).
Guillot, ingénieur du matériel du chemin de fer Victor-Emmanuel, à Turin (Piémont).
Guntz, à Hagueneau (Bas-Rhin).
Hallopeau, rue Albouy, 2.
Hamers, avenue de La Mothe-Piquet, 33.
Hamoir, à Maubeuge (Nord).
Hermary, à Lambres, par Aire-sur-la-Lys (Pas-de-Calais).
Hervey-Picard, rue Saint-Louis, 54, aux Batignolles.
Hervier, rue de la Fidélité, 10.
Heurtebise, chez M. Doré, maître de forges, au Mans (Sarthe).
Holcroft, à Tours (Indre-et-Loire).
Houel ✱, quai de Billy, 48.
Houlbrat, rue du Havre, 12.
Hovine, rue de Lyon, 7.
Hubert, rue Blanche, 69.
Hubert (William), rue Miroménil, 2.
Huet, rue Bleue, 35.
Humblot, rue des Clercs, à Metz (Moselle).
Imbs, à Brumath, près Strasbourg (Bas-Rhin).
Jarry, à Saint-Pares-les-Vandes (Aube).
Jacquin, rue de l'Église, 20, à Batignolles.
Jeanneney, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Jequier, à Santiago (Chili).

MM. Joly ✻, à Argenteuil, (Seine-et-Oise).
Jolly (César), à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Jouannin, rue de Clichy, 78.
Jousselin, rue de Bercy, 4.
Jucqueau, inspecteur de la voie au chemin de fer d'Orléans, à Poitiers (Vienne).
Jullien, boulevard Beaumarchais, 76.
Karcher, à Sarrebruk (Prusse-Rhénane).
Knab, rue de Seine, 72.
Kreglinger, chaussée de Berchem, 79 (Belgique).
Laborie (de) ✻, quai de Béthune, 18.
Laboulaye, rue de Grenelle-Saint-Germain, 39.
Labouverie, à Bouillon, province de Luxembourg.
Lacombe ✻, rue la La Rochefoucaud, 46.
Lafon, à Elvas (Portugal).
Lainé, rue du Faubourg-du-Temple, 59.
Laligant, à Maresquel, par Champagne-les-Hesdin (Pas-de-Calais).
Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 45.
Lambert, à Vuillafons, par Ornans (Doubs).
Langlois (Auguste), rue Bonaparte, 39.
Langlois (Charles), rue Joubert, 10.
Larpent, rue de Lonchamps, 39.
Larochette (de) ✻, à Bastia (Corse).
La Salle, à Kriens, près Lauzanne (Suisse).
Lasseron, à Alexandrie (Égypte).
Lasvigne, chez M. Dutreich, à Niederbronn (Bas-Rhin).
Laurens ✻, rue Saint-Honoré, 368.
Laurent (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagney (Haute-Saône).
Laurent (Lambert), gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Laurent (Charles), rue Chabrol, 35.
Lavalley ✻, avenue de l'Impératrice, 47.
Lavezzari, à Écuires, près Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Lebon (Eugène), boulevard de Strasbourg, 9.
Le Brun (Louis), rue de Belzunce, 10.
Le Brun (Raymond), rue de Savy, 1, à Lyon (Rhône).
Lecherf, rue Coquebert, 28, à Reims (Marne).
Le Cler (Achille), rue de l'Abbaye, 12.
Leclerc (Émile), à Séville (Espagne).
Lecœuvre, rue Saint-Louis, 83.
Leconte ✻, rue de Bercy, 4, à Paris.
Lecorbellier, rue de Londres, 51.
Lefèvre, rue de l'Écluse, 17 (Batignolles).

MM. LEFRANÇOIS, rue Rocroy, 23.
LEGAVRIAND, à Lille (Nord).
LE LAURIN, rue d'Amsterdam, 54.
LEMOINNE ✱, rue Notre-Dame, 18, à Passy.
LEMONNIER, aux forges de Terre-Noire (Loire).
LEMONON, à Arc-en-Barrois (Haute-Marne).
LEPEUDRY, rue Montholon, 28.
LE ROY, cour Léopold, 27, à Nancy (Meurthe).
LETELLIER, rue Neuve-des-Martyrs, 10.
LETESTU, rue du Temple, 118.
LEVAT ✱, à Arles (Bouches-du-Rhône).
LIMET, rue du Faubourg-Poissonnière, 32.
LIPPMANN, rue Saint-Louis, 16.
LITSCHFOUSSE, rue de Provence, 64.
LOISEL, rue Tronchet, 2.
LONGRAIRE, à Bologne (Italie).
LOPEZ-BUSTAMANTE, à Santander (Espagne).
LOUSTAU (Gustave) ✱, rue de Saint-Quentin, 23.
LOVE, rue de Turin, 4.
LOYD, chez M. Gouin, à Batignolles.
MACHECOURT, à Montricq, par Commentry (Allier).
MAIRE, rue Blanche, 40.
MALLAC, rue de la Bruyère, 21.
MALDANT, quai des Chartrons, 25, à Bordeaux (Gironde).
MALLET, au canal de Suez, à Port-Saïd (Égypte).
MALO, aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
MANBY (Charles), 25, Great George street Westminster.
MANGEON, à Melun (Seine-et-Marne).
MARCILLY (DE), à Suez (Égypte).
MARÈS (Henri), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
MARIÉ ✱, rue de Bercy, 4,
MARINDAZ, rue Caumartin, 20.
MARION, rue Marcadet, 6, à La Chapelle.
MARIOTTE, rue Saint-Louis, 13, au Marais.
MARLE, aux houillères d'Épinac (Saône-et-Loire).
MARSILLON, ingénieur principal de la 5e division, à Vesoul (Haute-Saône).
MARTENOT ✱, à Ancy-le-Franc (Yonne).
MARTIN (François), rue d'Amsterdam, 51.
MARTIN (Léon), à Commentry (Allier).
MARTIN (Louis) ✱, rue de Strasbourg. 8.
MARTIN (Charles-William), quai d'Orsay, 17.
MASSÉ, Place Royale, 60, à Reims (Marne).
MASSELIN, à la verrerie de M. Chance, à Birmingham.

MM. MASTAING (DE), boulevard Beaumarchais, 95.
MATHIAS (Félix) ✻ ✻ ✻ ✻, rue de Saint-Quentin, 23.
MATHIAS (Ferdinand) ✻, à Lille (Nord).
MATHIEU (Henri), rue de Lille, 93.
MATHIEU (Ferdinand) ✻, au Creuzot (Saône-et-Loire).
MAURE, rue de la Chaussée-d'Antin, 6.
MAYER ✻, rue Pigale, 26.
MAZELINE ✻, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
MAZILIER, boulevard de Strasbourg, 89.
MÉGRET, au château de la Meynardie à Saint-Privat, par Saint-Aulaye (Dordogne).
MÉLIN, rue Neuve-Coquenard, 11 *bis*.
MÉRAUX, rue Chabrol, 36.
MERCIER, rue d'Angoulême-du-Temple, 2.
MESDACH, rue Saint-Paul, 28.
MESMER ✻, rue du Petit-Carreau, 24.
MICHEL, à Troyes (Aube).
MICHELANT, au chemin de fer d'Orléans (au dépôt, à Ivry).
MICHELET, rue de la Chaussée-d'Antin, 27.
MIGNON, rue Ménilmontant, 151.
MINARY, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
MIRECKI, en Russie.
MITCHELL, rue de Lyon, 61.
MOLÉON, rue de la Paix, 16.
MOLINOS, rue Chaptal, 22.
MOLLARD, rue des Tournelles, 50.
MONNOT, à Pontru (Aisne).
MONTCARVILLE, au chemin de fer de Tours, à Tours.
MONTHIERS, rue Neuve-des-Petits-Champs, 64.
MONY (Stéphane) ✻, boulevard des Italiens, 26.
MOREAU (Albert), rue Neuve-de-l'Université, 9.
MORICE, à Hazebruck (Nord).
MOUILLARD, à Séville (Espagne).
MULLER (Adrien), rue d'Amsterdam, 18.
MULLER (Alfred), rue Demours, 25, aux Ternes.
MULLER (Émile), rue Chabrol, 33.
NANCY, ingénieur des Docks, au Havre (Seine-Inférieure)
NEPVEU, rue Taitbout, 81.
NILLIS (Auguste), à Chaumont (Haute-Marne).
NOISETTE, rue des Poissonniers, 50, à La Chapelle.
NORMAND fils, constructeur, au Havre (Seine-Inférieure).
NOZO ✻ ✻, boulevard Magenta, 159.
O'BRIEN, rue Charlot, 6, aux Ternes.
OTTAVI, avenue de Saint-Cloud, 51, à Passy.

MM. Oudot, rue des Saints-Pères, 10.
Palotte fils, rue du Conservatoire, 11.
Paquin ✱, au chemin de fer de Saragosse à Alicante, à Madrid (Espagne).
Paul, rue Amelot, 40.
Peligot (Henri), rue Bleue, 5).
Pellier, à Thann (Haut-Rhin.
Pepin-Lehalleur ✱ ✱, au château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).
Perdonnet (Auguste) O ✱ G ✱ C ✱ ✱ ✱, administrateur au chemin de fer de Strasbourg.
Péreire (Eugène) O ✱ ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Pérignon, faubourg Saint-Honoré, 105.
Périssé, Grande Rue, 62, aux Batignolles.
Perret, à Milan (Piémont).
Perrot ✱, rue de Sèvres, 76, à Vaugirard.
Petiet (Jules) O ✱ ✱ ✱ ✱, rue Lafayette, 34.
Petin ✱, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit de Coupray ✱ ✱, rue Lafayette, 50.
Petitgand, rue Richer, 13.
Petitjean, rue de Bruxelles, 15.
Petre, place Vendôme, 16.
Picard, maison Tanquier, place Championnet, à Valence (Drôme).
Pierron ✱, rue de l'Église, 13, aux Batignolles.
Pihet fils, rue Neuve-Popincourt, 8.
Pillichody, rue Lafayette, 52.
Pinat, aux forges d'Allevard (Isère).
Piquet, ingénieur en chef des mines à Gibraleon, province de Huelva (Espagne).
Planhol (de) ✱, à Sousvent, par Bex, canton de Vaux (Suisse).
Plazolles, rue des Jeûneurs, 27.
Poinsot, rue Hauteville, 45.
Pollet, à Huelva (Andalousie).
Poiret, au Mans (Sarthe).
Poncet, entrepreneur à Massiac, par Brioude (Cantal).
Poncin, à Brives (Corrèze).
Pot, rue Barthélemy, 21, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Pothier (Alfred-François), rue des Coutures-St-Gervais, 4.
Pottier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, à Passy.
Pouchet, rue Dauphine, 20.
Pouell, chef de section au chemin de fer du Nord, à Douai.
Poupé, à Amiens (Somme).
Priestley, rue Saint-Gilles, 17.
Princet, rue de Bondy, 90.

MM. Prisse ✻, au chemin de fer d'Anvers, à Gand (Belgique).
Pronnier, rue Chaptal, 22.
Pury (de), à Neuchâtel (Suisse).
Rancès, rue Neuve, 30, à Bordeaux (Gironde).
Redon, allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).
Regad (Léon), boulevard Longchamps, 109, à Marseille (B.-du-R).
Regel (de) ✻, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Regnault, rue de Stockolm, 4.
Renard, rue de Grenelle-Saint-Germain, 59.
Renaud, à Deluz, canton de Roulans (Doubs).
Reymond, rue Dieudé, 11, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Reynaud, à Cette (Hérault).
Reytier, à Palencia (Espagne).
Revin, rue de St-Quentin, 10.
Rhoné ✻, rue du Faubourg-St-Honoré, 35.
Ribail, rue du Chemin de Fer, 35, à Plaisance.
Richard, quai de Béthune, 24.
Riche, à Buxière-la-Grue (Allier).
Richomme, rue de Dunkerque, 15.
Richoux, Chaussée des Martyrs, 30.
Ridder (de), rue de Provence, 65.
Rocaché, rue Mazagran, 4.
Rogé, à Pont-à-Mousson (Meurthe).
Romme, à Saint-Quentin (Aisne).
Rouart, rue Ménilmontant, 149.
Roussel (Simon), rue Saint-Louis, 67.
Roy (Edmond), quai Voltaire, 23.
Roze, rue des Filles-du-Calvaire, 23.
Ruolz (de) O ✻ ✻, rue du Cherche-Midi, 69.
Saillard, constructeur à Nantes (Loire-Inférieure).
Saint-James, rue du Faubourg-St-Martin, 152.
Salleron, à Sens (Yonne).
Salvétat ✻, à la manufacture impériale de Sèvres.
Sambuc, Alservorstadt, 130, à Vienne (Autriche).
Sarazin, boulevard de Strasbourg, 89.
Saulnier, rue Saint-Sulpice, 24.
Sautter, avenue Montaigne, 37.
Scellier, rue des Granges, à Montbéliard (Doubs).
Schivre, au Grand-Hornue, près Mons (Belgique).
Schlincker, à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger ✻, au château de Guebviller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Schuwab, à Terre-Noire, près Saint-Étienne (Loire).
Séguin (Paul), rue de la Ville-l'Évêque, 40.

MM. Ser, rue de Rivoli, 82.
Servier, rue des Martyrs, 33.
Siéber, rue de l'Empereur, 33 (Montmartre).
Simons (Paul), à Maubeuge (Nord).
Stéger, quai de Béthune, 22.
Stœkel, à Saint-Florentin-sur-Cher (Cher).
Sulberger-Zeigler, à Winterthur (Suisse).
Tardieu, rue des Ursulines, à Valenciennes (Nord).
Tardieu (Georges), rue de Tournon, 13.
Tétard, boulevard Montparnasse, 47.
Thaurin, rue d'Amsterdam, 64.
Thauvin, rue Martel, 17.
Thétard, rue de Verneuil, 26.
Thevenet, rue de la Rochefoucauld, 25.
Thirion, boulevard Baumarchais, 95.
Thomas (Léonce) ✳, quai Voltaire, 25.
Thomas (Frédéric), à Cramaux (Tarn).
Thomé de Gamond, rue de Bruxelles, 26.
Thouin ✳ ✳, rue de Valenciennes, 1.
Thouvenot, à Bex, canton de Vaud (Suisse).
Tourneux (Félix), rue de Penthièvre, 15.
Tresca ✳ ✳ ✳ ✳, sous-directeur au Conservatoire des Arts et Métiers.
Trélat ✳, rue de la Tour-d'Auvergne, 37.
Tronquoy (Camille), rue du Faubourg-St-Denis, 43.
Valentin, rue Zérozo, 12, à Bruxelles (Belgique).
Valério, rue Saint-Lazare, 62.
Vallez, à Trith-Saint-Léger, près Valenciennes (Nord).
Vallier, rue St-Nicolas-d'Antin, 59.
Vandel, aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
Vauthier, rue Chaptal, 22.
Vée, fabricant de produits chimiques, à Altentiefenhaf, 27, à Zurich (Suisse).
Verdier ✳, gérant des aciéries et forges de Ferminy (Loire).
Verrine, rue de Stockholm, 10.
Vidal, rue du Mont-Thabor, 38.
Vigneau, à Aiguillon (Lot-et-Garonne).
Vinchen ✳, ingénieur en chef de l'État belge, à Bruxelles (Belgique).
Vinchon, rue de Milan, 8.
Viron, au chemin de fer à Angoulême (Charente).
Voruz aîné, à Nantes (Loire-Inférieure).
Vuigner (Émile) O ✳ G ✳, rue du Faubourg-St-Denis, 146.
Vigreux, rue du Château-d'Eau, 26.

MM. Vuillemin, à Épernay (Marne).
Wahl ✻, rue de Bercy, 4, à Paris.
Wallaert, à Lille (Nord).
Weil (Frédéric), rue des Petites-Écuries, 18.
West, rue Mazagran, 20.
Willien (Léon), rue du Faubourg-de-Saverne, 53, à Strasbourg.
Windisch, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Wissocq (Alfred), à Charleroi (Belgique).
Wohlguemuth, à Essonne (Seine-et-Oise).
Wolski, ingénieur des mines d'Auriol (Bouches-du-Rhône).
Yvert (Léon), rue d'Aumale, 26.
Yvon-Villarceau ✻ ✻, à l'Observatoire.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE 1ER TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1862

Séance du 10 Janvier 1862.

Présidence de M. TRESCA.

L'ordre du jour appelle l'installation des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1862.

M. Eugène FLACHAT, Président sortant, occupe le fauteuil et prononce le discours suivant :

Messieurs,

Le commencement de l'année appelle au fauteuil un nouveau Président. Il est de règle que le Président sortant résume devant vous, dans cette séance d'installation, les travaux accomplis dans notre Société pendant l'année qui s'est écoulée. Ainsi se trouve ramené l'examen des progrès qui intéressent la profession d'Ingénieur pendant cette courte période.

L'industrie générale semble sortir de l'incertitude où l'a placée l'enquête sur le Traité de commerce et le régime que lui ont fait les derniers tarifs de douanes.

La fabrication du fer lutte avec vigueur, sous l'influence d'une demande satisfaisante; mais à des prix généralement abaissés à un taux que les crises précédentes avaient à peine atteint. Elle n'a plus à espérer le retour des prix qui donnaient des bénéfices suffisants pour permettre la transformation de l'outillage ou la création de nouveaux établissements. Elle attend l'amélioration des voies navigables qui lui a été promise, et les réformes administratives des régimes forestier et minier, tendantes à substituer à son existence précaire et au jour le jour, des garanties d'avenir, sans lesquelles il lui serait impossible de triompher des établissements rivaux de l'Angle-

terre et de la Belgique. Ne nous étonnons donc pas de ne pouvoir signaler des progrès importants dans cette industrie à la suite de la secousse qu'elle vient d'éprouver. Vous avez consacré à ce grave intérêt plusieurs de vos séances. La discussion s'y est fort étendue sur l'affinage de la fonte par le procédé Bessemer, et sur la composition de l'acier. Espérons qu'elle ne sera pas sans fruit. Le procédé Bessemer paraît donner aujourd'hui des produits d'une qualité plus régulière; de grands établissements français se décident à en essayer l'application à la fabrication de l'acier. — La composition de ce dernier corps semblait éclairée d'un jour nouveau par des analyses dont les résultats avaient été avidement saisis, tant il importe d'expliquer, à la fois, l'abaissement général et progressif de la qualité des aciers, et les réactions qui résultent de sa composition même, dans les opérations dont il est l'objet.

L'expérience confirmera-t-elle les données de ces analyses qui ont si vivement ému l'industrie métallurgique? La question se pose encore avec opportunité, mais avec l'espoir d'une prompte solution. Cet espoir est fondé sur la précieuse découverte que la chimie a faite, pendant l'année qui vient de s'écouler, en ajoutant à ses méthodes déjà si parfaites d'analyse une nouvelle méthode d'une exactitude et d'une perfection vraiment extraordinaires.

Espérons qu'appliquée à la composition des métaux cette méthode nouvelle donnera la clef du mystère qui enveloppe encore la composition des différentes espèces de fonte, de fer et d'acier, et que, de la connaissance exacte de la composition atomique de ces corps, sortiront des procédés de fabrication aussi méthodiques et aussi certains que ceux qui président à la fabrication des produits chimiques.

Nos discussions sur les régulateurs des machines à vapeur ont constaté de graves dissidences d'opinions entre des Ingénieurs auxquels la science et la pratique donnent une grande autorité. Vous avez témoigné le désir de les reprendre un jour. Un vif intérêt s'attache à une bonne solution de cette question.

Rappelons à cette occasion que l'emploi des moteurs mécaniques à domicile est basé sur la fabrication d'articles qui exigent une grande régularité dans le mouvement qui conduit l'outillage. Malgré l'avortement des tentatives faites cette année dans la voie des moteurs à domicile, le besoin en est assez profond pour encourager les essais nouveaux qui sont tentés de toutes parts. Vous en avez été entretenus, et plusieurs d'entre vous donnent un utile concours à ces tentatives. Une circonstance spéciale et toute contemporaine, le développement considérable de la machine à coudre, vient ajouter un nouvel aliment aux moteurs à domicile. Est-il besoin de vous rappeler l'intérêt qui s'attache à voir le ménage de l'artisan lutter au foyer de la famille avec ces grandes manufactures où l'économie de la fabrication n'est obtenue qu'au prix de la dispersion de ses membres?

Des pages pleines d'éloquence et d'aperçus d'une moralité consolante pour l'avenir de l'industrie ont été publiées cette année sur ce sujet, et ont rencontré les plus vives sympathies dans toutes les classes de la société[1].

Vous avez été également entretenus de la construction des ponts métalliques, des puits artésiens, des récentes expériences sur la manière dont les navires de grandes dimensions se comportent à la mer, de la substitution du fer au bois dans les constructions nautiques. Ces questions sont ramenées chaque année et chaque fois que des faits importants nous apportent un nouvel enseignement expérimental.

Il nous reste à résumer vos travaux sur la plus importante des entreprises dans

1. L'*Ouvrière*, par J. Simon.

lesquelles le pays, c'est-à-dire l'association des capitaux et le Gouvernement se trouvent engagés : *les chemins de fer*. Ce que l'art, la science et des besoins nouveaux apportent en améliorations à la situation générale de cette industrie excite toujours un vif intérêt.

Cette année, comme précédemment, les intérêts commerciaux continuent à invoquer l'intérêt public pour obtenir l'abaissement des tarifs de transport. Ils demandent aussi plus de vitesse, des trains plus fréquents, une plus grande célérité dans les livraisons des marchandises.

Dans la manifestation de ces exigences, un levain de malveillance perce trop souvent à travers le langage des organes de l'opinion, et il suffit d'un accident pour provoquer, à cet égard, des appels au Gouvernement, dans une forme qui constate, mieux que tout autre symptôme, la faible profondeur des racines que l'esprit d'association appliqué à l'exploitation des services publics a fait pénétrer dans les sentiments des populations.

Le Gouvernement répond à la pression des intérêts privés qui l'étreignent de toutes parts, avec un désir manifeste de pondération. Il sait d'ailleurs que l'abaissement graduel des tarifs s'opère habituellement par l'intérêt des Compagnies à provoquer les transports, et que l'excès d'influence qu'il exercerait sur elles à cet égard pourrait altérer profondément le crédit dont la conservation est essentielle à une propriété qui a pris sous son égide une place respectable dans la richesse publique.

Mais un intérêt plus grand encore s'attache à la prospérité financière des réseaux actuels, c'est celui des progrès de l'exploitation. En Belgique, il y a quelques années, et en ce moment encore en Angleterre, ainsi que nous l'avons récemment constaté nous-même, l'appauvrissement de l'exploitation a été la conséquence immédiate de l'affaiblissement du revenu. La France, que l'étendue de son réseau et l'importance des transports ne plaçaient pas au premier rang pour l'exploitation des chemins de fer, s'y est élevée et elle s'y maintient. Elle surpasse les autres pays par l'économie relative des transports, par la puissance et les bonnes conditions du matériel, et par la régularité du service.

Le point de vue purement technique d'où nous aimons à considérer ces questions montre d'abord qu'il n'est pas d'exigence en rapidité de marche, fréquence des trains, célérité des livraisons, qui ne se résolve, sans compter l'accroissement des frais d'exploitation, en dépenses considérables de premier établissement. C'est là le trait particulier qui caractérise, dans l'exploitation des chemins de fer, les progrès de l'année qui vient de s'écouler.

Un train lancé à grande vitesse sur une ligne de plusieurs centaines de kilomètres impose aux trains qu'il doit dépasser un régime de marche qui exige à son tour une extension d'établissement en garages et dispositions propres à faciliter les manœuvres. La fréquence des trains a les mêmes conséquences et elle exige aussi l'accroissement du materiel. Enfin la célérité des livraisons, qui semble au premier coup d'œil si facile et si simple, exige à son tour des gares plus étendues, des services de camionnage considérables, etc.

Si une forte importation de céréales, une récolte abondante de vin viennent inopinément encombrer les gares, il faut, pour satisfaire le public, exécuter ces transports imprévus avec la même régularité que s'ils se produisaient normalement. De là encore une extension continue d'établissements et de matériel qui s'élève forcément jusqu'à la limite du plus grand mouvement. Car ici l'élasticité du service n'est possible qu'à un certain degré. Le personnel doit remplir des conditions d'aptitude qui

ne permettent pas de le puiser au jour le jour et suivant les besoins dans les professions ordinaires ; il faut, pour le former, une longue expérience et des qualités qui ne se révèlent qu'avec le temps. Le personnel lui-même doit donc aussi être élevé à la limite du plus grand mouvement ; de là, pour double conséquence, l'augmentation du capital d'établissement et des dépenses d'exploitation.

Voilà pourquoi les dépenses d'établissement applicables à l'ancien réseau s'élèvent annuellement à un chiffre très-considérable, et on peut affirmer que, si l'État administrait les chemins de fer, il ne consacrerait à l'extension des établissements et du matériel qu'une somme insignifiante, infiniment plus faible, dans tous les cas, que celle qu'y engagent les Compagnies. Le Gouvernement serait fondé à repousser les exigences incessantes du public, au nom de l'impossibilité d'y faire face autrement que dans les strictes limites que le budget impose à tous les services amenés au régime de l'entretien.

Sous ce rapport, le public et le Gouvernement doivent se féliciter de l'administration des chemins de fer par les Compagnies. — Elles seules ont l'élasticité propre à faire face aux besoins de l'industrie. Les faits apportent donc ici une démonstration opportune.

Ces dépenses conduisent-elles au sacrifice continu de la vaste association dont les travaux ont, avec le concours de l'État, obtenu le résultat que nous avons sous les yeux? Nous ne le croyons pas, et personne ne semble le croire. Un mélange plus intime des agents du Gouvernement et de ceux des Compagnies a produit des idées plus nettes sur le mérite et la tendance des travaux de ces dernières. On a reconnu que l'étude des progrès mécaniques et d'organisation qui intéressent la sécurité publique et l'économie des transports se poursuit incessamment et avec sagesse. L'administration publique a, sous ce rapport, une opinion infiniment plus favorable des Compagnies que ne l'est celle du public.

Or, comme les travaux d'agrandissement qui s'exécutent sur les chemins de fer sont préalablement approuvés par le Gouvernement, et que les dépenses se font avec des garanties au moins égales, sinon supérieures pour le contrôle, à celles du Gouvernement lui-même, il semble naturel d'espérer que part sera faite à ces dépenses si elles venaient à excéder le chiffre pour lequel l'ancien réseau est entré, vis-à-vis du nouveau, dans les conventions qui ont réglé la situation actuelle.

L'intérêt qui s'attache à ces considérations est direct pour notre profession si profondément engagée dans l'industrie des chemins de fer et si intéressée à son développement.

Or, ces développements indispensables à l'activité de production et à la prospérité du pays, la question est de savoir comment ils se réaliseront.

Mais vous préférerez que nous nous entretenions de ce qui est notre mission dans cette grande industrie, et en seconde ligne de notre intérêt.

Le côté le plus sérieux, celui par lequel notre profession se recommande le plus à la confiance publique, c'est la part qu'elle prend dans les progrès qui intéressent la sécurité des voyageurs et du personnel, dans l'exploitation des chemins de fer.

Nous pourrions ici rappeler avec satisfaction que l'établissement des signaux mobiles et surtout la transmission à distance de la manœuvre de ces signaux vous sont dus, ainsi que les premières applications de la télégraphie à la marche des trains. Les étrangers nous ont imités ; ils nous ont même de beaucoup dépassés dans l'application de la télégraphie à l'indication de la marche des trains, mais cet art est libre chez eux et se développe à la faveur de sa liberté ; ses progrès se sont ralentis en

France, du jour où il est devenu l'instrument à peu près exclusif d'une administration spéciale.

Parmi les autres moyens complémentaires de sécurité, il en existe deux : la régularité du service obtenue au moyen de la puissance des machines, et les conditions dans lesquelles s'opère la part humaine d'attention et de surveillance. Sur la première, la France est, sans contestation, en tête de l'industrie des chemins de fer. Par l'adoption du type Engerth, jusque-là destiné aux fortes rampes, elle avait effectué le transport des marchandises par les machines les plus puissantes ; elle avait ainsi concilié un mouvement considérable en marchandises avec la fréquence des trains qu'exige une forte circulation de voyageurs. Cependant ce type, qui avait jusqu'à ce jour réalisé la plus grande puissance motrice unie à la plus grande somme d'adhérence, était encore insuffisant, parce que les proportions entre la puissance et l'adhérence, bien que convenables pour la marche, ne l'étaient pas pour le démarrage, qui exige des efforts très-supérieurs. L'adhérence était donc trop faible pour mettre rapidement en mouvement les trains complets de marchandises. La Compagnie du chemin de fer du Nord s'est alors décidée à élever le poids moteur de 37 tonnes portées sur quatre essieux à 53 tonnes portées sur six essieux, laissant les bons éléments tels que la surface de chauffe qui constituent la puissance de la machine en marche, semblables à ceux du type Engerth, mais en diminuant le nombre des arrêts par un fort approvisionnement d'eau. Si, comme il n'y a pas lieu d'en douter, cette tentative est suivie de succès, la régularité du transport des marchandises sera désormais conciliée avec son économie. Ce sera un des progrès les plus sérieux au point de vue de la sécurité sur les chemins de fer. Ce sera aussi le progrès le plus sympathique aux industries métallurgiques, parce que les transports des produits lourds et de faible valeur, tels que la houille, le minerai, les matériaux, pourront circuler en trains complets franchissant de grandes distances, s'arrêtant rarement, sans gêner ni compromettre la marche des trains rapides. Depuis qu'il est généralement reconnu que la régularité et l'économie du service résident dans la puissance des machines, et que chaque type de celles-ci devient insuffisant en puissance à mesure que les lignes s'allongent et se nourrissent par les embranchements, la voie de l'avenir est plus distinctement tracée en vue du gage qu'il faut, avant tout, offrir au public : celui de la sécurité.

Toutefois, si les solutions mécaniques jouent un rôle important dans cette grave question de la sécurité publique, il ne faut pas donner moins d'attention à l'étude des moyens qui consistent à placer l'homme (garde, aiguilleur, cantonnier, mécanicien, ouvrier) dans les conditions les plus convenables pour en tirer une attention soutenue.

Pour obtenir cette part humaine d'observation, malheureusement nécessaire, dont l'œil et l'oreille sont les instruments, il faut employer tous les moyens : l'intérêt, l'expérience, le sentiment du devoir, la discipline, une surveillance incessante, l'hygiène ; tout, en un mot, doit être mis en œuvre, car c'est là le côté faible, celui d'où naît le vrai péril, et c'est pour cela qu'il doit être l'objet le plus sérieux de l'attention de l'Ingénieur.

Nous marchons également dans la voie d'un progrès, moins impérieux sans doute, mais précieux aussi, en ce qui concerne la combustion de la houille dans les foyers des machines locomotives et la fumivorité. La direction la plus sûre semble être dans l'accroissement de la surface de grille et du volume du foyer. Le type Engerth avait, à cet égard, une supériorité incontestable qui lui est disputée par le dernier modèle de machine du Nord.

La Compagnie de l'Est a essayé avec succès et la Compagnie d'Orléans a adopté une disposition de foyer qui a fait faire un nouveau progrès à la fumivorité de la houille[1].

Constatons encore un intéressant résultat dont cette année s'est enrichie. La rampe de 35 m/m qui termine le chemin de Saint-Germain, la seule, au reste, qui existe en France, est desservie pour trente-deux trains par jour par une seule machine locomotive, dont le parcours est ainsi de 102 kilomètres. Des trains de cent tonnes, non compris le poids de la machine, franchissent couramment cette rampe ; et la traction (combustible, personnel et entretien) n'y coûte pas plus de 1 fr. par kilomètre. Il ne manque à ce résultat que la publicité ; il était prévu assurément, mais il a reçu la sanction de l'expérience. Elle profitera parce qu'elle s'adapte facilement au mode actuel d'exploitation des chemins de fer.

Nous ne sortirons pas du champ de vos travaux de l'année en rappelant ici l'intérêt avec lequel nous avons reçu la nouvelle des premiers essais de l'application des appareils inventés par M. Sommelier pour le percement du mont Cenis. L'emploi de l'air comprimé aux machines à percussion semble désormais consacré, et l'industrie générale ne tardera pas à en généraliser l'usage. C'est déjà un grand bienfait. Quant au percement en lui-même, sans nous en dissimuler les difficultés, espérons qu'il sera de plus en plus riche en combinaisons mécaniques, et que les incertitudes que des ingénieurs hardis n'ont pas craint d'affronter seront résolues par la persévérance habile et courageuse dont ils ont déjà donné des preuves.

Mentionnons aussi, comme un fait qui révèle un nouveau progrès de l'art des chemins de fer, la belle étude dirigée par un Ingénieur français[2] et acceptée par le Gouvernement italien pour franchir les Alpes au col du Luckmanier, à ciel ouvert et au moyen de rampes de 25 m/m seulement.

Ces progrès, Messieurs, semblent tous marcher vers un même but, celui d'approprier les solutions que l'art fournit aux situations spéciales et aux ressources dont on dispose. La tendance à l'imitation, qui, poussée à l'excès, dégénère pour la science et pour l'art en Fourches Caudines, est l'écueil des Gouvernements que l'instinct public pousse *à tout faire pour tous*. Le nôtre a compris cela, et il vient de manifester le désir d'étudier les moyens d'établir les chemins de fer du troisième réseau dans des conditions plus approchées de ce que permettent les ressources qu'ils présenteront en trafic. Le budget de l'État, quelque facilement grossi qu'il puisse l'être par l'emprunt, qui n'est qu'une anticipation sur l'impôt, ne suffirait pas à l'importance des sacrifices que le présent doit faire pour solliciter l'activité de production du pays, par l'extension des chemins de fer. On veut s'approcher, pour la dépense, plus près de la mesure des services à attendre. De cette façon, on atteindra plus tôt et plus économiquement le but, qui est de faire pénétrer les chemins de fer sur tous les points du territoire où le sol est très-producteur, et où la population est active et suffisamment agglomérée. Vous avez déjà débattu longuement cette grave question et l'opportunité de vos discussions a été ainsi établie.

C'est déjà beaucoup que le Gouvernement ait implicitement reconnu qu'en fait de chemins de fer il ne faut pas s'arrêter à un type unique et invariable, celui qui est consacré par le cahier des charges, également unique, qui en règle pour le pays tout entier les dispositions, et qu'il peut être utile d'étudier s'il y a lieu d'en accepter d'autres.

1. Le système Tembrink.

2. M. Michel, ingénieur des ponts et chaussées, aidé de MM. Pestalozzy et Wetly.

Puisse-t-il sortir de cette grave enquête la plus grande somme de liberté d'initiative! Qu'à partir du petit chemin de mine ou d'usine avec sa voie de 0m.75 c., ses courbes de 10 à 12 mètres de rayon, sa traction par des bœufs, des chevaux ou des locomotives, le Gouvernement accueille toutes les propositions, les discute, en ne cherchant à les rapprocher du type actuel que là où un intérêt général, patent et immédiat, sera engagé. Que les petites villes, les gros villages puissent se rattacher aux stations des grands chemins de fer en utilisant, pour placer la voie, la rue, les chemins, les routes ordinaires.

Que l'intelligence et l'esprit de ce genre de spéculation pénètrent dans les populations qui sont détournées, quant à présent, de ces entreprises, par la dépense des gigantesques travaux qu'elles ont sous les yeux.

Si l'épargne locale cherchait un pareil emploi, l'activité générale en recevrait une immense impulsion, et la richesse se répandrait avec elle d'une manière plus égale sur le territoire.

Devant l'art ainsi émancipé, la profession de l'Ingénieur grandirait en importance comme en utilité. Pour tout le pays, ce serait le commencement d'une de ces belles époques où le travail a fécondé miraculeusement la terre, époques qui se retrouvent de temps en temps dans les annales de l'agriculture et de l'industrie, comme dans celles des sciences et des beaux-arts.

C'est d'ailleurs là le seul moyen d'utiliser à son maximum le réseau actuel sans l'affaiblir. La concurrence outrée par l'emportement de l'esprit d'association, qui a aussi ses passions et ses défaillances, a réduit le réseau anglais à la triste situation où nous le voyons aujourd'hui. Il se relève lentement de cette effroyable secousse, et ce qui le relève, ce sont les mille petits embranchements qui viennent y verser leurs transports. Depuis que le transbordement est devenu la règle impérieuse pour les grandes exploitations comme pour les petites, la fixité du type de voie et du matériel a perdu une grande partie de son intérêt, et cela apporte à la solution de la grave question de l'extension des chemins de fer une facilité nouvelle.

Devons-nous nous justifier, Messieurs, d'attirer avec tant d'insistance votre attention sur la relation intime qui existe entre les chemins de fer et notre profession? N'est-ce pas la grande industrie des travaux publics qui semble nous offrir dans l'intérêt du pays, comme dans le nôtre, la carrière la plus entraînante, et n'y aurait-il pas une perte de force nuisible si vous vous en écartiez? Je le répète, aujourd'hui comme l'année dernière, cela ne peut être dans la pensée du Gouvernement. J'en trouve la preuve dans ce fait que depuis que l'École centrale des arts et manufactures est devenue une école du Gouvernement, celui-ci n'y a pas modifié l'enseignement. Il a reconnu sans doute que les services de l'État y pouvaient puiser d'importantes ressources; et, en effet, il est bien établi aujourd'hui qu'entre l'enseignement élevé des trois écoles qui forment les Ingénieurs du Gouvernement, et l'enseignement pratiqué dans les Écoles d'arts et métiers d'où sortent la plupart des conducteurs, il y avait un intervalle trop grand, une lacune à combler; il y avait place pour un enseignement nouveau, propre à former des hommes dont le concours pût être plus immédiatement efficace; des hommes apportant les connaissances de l'application des sciences mathématiques à la résistance et aux formes de la matière dans les travaux mécaniques, et cela, à un degré plus approché de l'application qu'il n'existe dans le Corps des ponts et chaussées et des mines; dans tous les cas, à un degré suffisant pour permettre aux Ingénieurs civils de venir utilement dès leur sortie de l'École en aide aux Ingénieurs de l'État.

Les Ingénieurs des corps spéciaux, qui, laissant de côté des considérations mesquines, ont essayé d'entrer dans cette voie, ont trouvé parmi vous, pour l'étude des projets, des ressources que leur ancien personnel ne pouvait leur offrir. Remarquez, Messieurs, les conséquences qui s'en sont suivies; il y a à peine dix ans, les applications mécaniques n'entraient que pour une faible part dans les travaux des Ingénieurs du Gouvernement, et voyez, aujourd'hui, combien cette part s'est agrandie; elle a pris le premier rang dans l'œuvre des travaux publics, et cela est dû en grande partie à votre concours.

Ce que je vais vous dire, Messieurs, à cet égard, sera considéré bientôt comme une vulgaire et inutile banalité; il est cependant bon encore aujourd'hui, que la pensée des Ingénieurs dont la carrière a été longue et active vous soit redite; le gage le plus sérieux d'avenir, le gage indispensable de force, de succès, de considération dans la profession d'Ingénieur, c'est la possession des sciences mathématiques. Celui auquel elles manquent ne saura, de sa vie, employer le métal de quelque manière que ce soit, sans appeler le concours de ceux qui les possèdent. Quelque ingénieux qu'il soit, lorsqu'il s'agira d'applications mécaniques, des propriététés physiques des corps, il se traînera dans l'imitation, ou se jettera dans les éventualités du tâtonnement. La plupart des livres des maîtres seront fermés pour lui. Gardez donc, Messieurs, précieusement, de l'enseignement que le plus grand nombre d'entre vous ont eu le bonheur de recueillir dans cette école déjà féconde en hommes utiles, cette part élevée et fertile, sans laquelle l'Ingénieur le plus heureusement doué ne peut avoir confiance dans ses propres forces. Notre avenir, sachons-le bien, est à ce prix. Toutes les barrières s'abaisseront, les obstacles s'aplaniront devant cette force.

Le système des bons Gouvernements n'est, vous le savez, au point de vue des travaux publics, que l'art d'y faire concourir toutes les aptitudes utiles. Il n'entrera dans l'idée de personne qu'il leur convienne d'en repousser systématiquement une seule.

Nous en avons sous les yeux un grand et récent exemple.

Entre tous les travaux dont les Gouvernements ont réservé l'exécution à des corps et à des ateliers spéciaux, se place naturellement, du moins il le semblait, le matériel des armées de terre et de mer. Certes, s'il est un intérêt de premier ordre pour un Gouvernement, c'est celui de donner à ses soldats et à ses marins des moyens d'attaque et de défense, au moins égaux, sinon supérieurs, à ceux des autres États, afin de maintenir ses forces militaires au niveau du courage individuel et de l'esprit d'organisation armée propre à chaque population. Eh bien! n'est-il pas digne au plus haut degré de l'attention de tous, que les États, qui se sont exclusivement réservé la fabrication des armes de guerre et la construction des flottes, soient aujourd'hui à la remorque de celui qui a demandé ces moyens à l'industrie générale du pays; que par les idées, la création, la puissance de production, la supériorité de celui-ci éclate et force les autres pays à le suivre, à peine d'abaissement de leur niveau politique. Cet exemple doit nous donner confiance.

Que les Gouvernements soient appelés à faire *tout pour tous*, ce dont Dieu nous garde! ou qu'ils se tiennent au rôle de régulateurs des forces du pays, qu'ils se montrent même initiateurs des grands intérêts intellectuels et sociaux, jamais ils ne trouveront de véritables forces dans l'esprit d'exclusion.

Croyons donc à l'avenir, vous avez prouvé que vous pouviez être utiles; il ne dépend que de vous de devenir indispensables au développement des forces industrielles du pays.

Avant de céder le fauteuil à mon successeur, laissez-moi vous dire les espérances que notre Société me paraît devoir fonder sur l'Ingénieur qui va s'y asseoir.

Sorti de l'École polytechnique et de l'École des ponts et chaussées dans un rang qui lui promettait l'avenir qui appartient aux natures précoces pour la science, il a préféré à une carrière sûre, mais moins active que celle qui convenait à ses forces, l'avenir qu'ouvrait devant lui l'industrie générale. Celle-ci ne s'est pas montrée ingrate, non pas qu'elle ait répondu généreusement par les faveurs de la fortune aux efforts de l'Ingénieur, mais elle l'a récompensé par la considération dont il est aujourd'hui entouré et qui lui a valu votre choix. Cette élection toute spontanée lui sera par cela même plus précieuse encore; elle sera pour notre Société un élément nouveau d'activité et d'utilité. Peu d'hommes ont, en effet, autant travaillé les questions de l'industrie que l'a fait M. Tresca; sa vie y a été exclusivement consacrée depuis la sortie de l'École, et c'est beaucoup, en raison des facultés heureuses de travail dont il est doué.

Nous devons donc compter que cette année sera bien remplie; mais il importe à notre nouveau Président qu'il puisse, à son tour, compter aussi sur notre concours entier et dévoué. Je crois pouvoir l'assurer de l'unanimité de nos dispositions à le seconder.

M. Flachat cède le fauteuil à M. Tresca.

Messieurs,

Le discours que vous venez d'entendre est bien fait pour me confirmer dans l'opinion que vous vous êtes étrangement mépris dans l'élection dont vous m'avez honoré comme votre nouveau président.

Examinant, à un point de vue toujours élevé, la position de l'Ingénieur, par rapport aux grands travaux publics, et plus particulièrement à l'exploitation des chemins de fer, M. Flachat vous a tout à la fois indiqué l'influence dominante que les Ingénieurs libres ont exercée sur cette grande question, et la part, encore considérable, qui paraît leur être départie pour l'avenir.

Il me serait de tout point impossible d'entrer dans des considérations du même ordre, parce qu'elles tiennent à la fois d'une longue pratique et des observations d'un esprit exercé.

Il m'a semblé, d'ailleurs, que si vos élections ont une signification quelconque, elles veulent dire que, tout en considérant, pour questions fondamentales, celles qui se rattachent aux grandes voies de communication, les membres de cette Société seraient désireux de sortir parfois de cette spécialité et de trouver dans vos réunions, comme dans les sujets qui sont soumis à votre examen, quelque variété.

En me chargeant si spontanément, et sans aucun désir exprimé de ma part, de diriger pendant une année vos discussions, il m'a semblé que vous ne pouviez pas avoir d'autre but.

Lié par mes études premières à l'École polytechnique et à l'École des ponts et chaussées, je suis autant que personne disposé à reconnaître, avec l'éminent Ingénieur qui vient de vous entretenir, la prépondérance des sciences exactes dans toutes les œuvres qui sont de votre domaine. Dévoué de cœur et par mes fonctions mêmes au

Conservatoire impérial des arts et métiers, dont vous avez tous étudié les collections, à l'École centrale des arts et manufactures, où, pour la plupart, vous avec conquis vos diplômes, aux Écoles impériales des arts et métiers, dont vous comptez déjà quelques-uns des meilleurs élèves parmi vous, je considérerai, d'accord avec vos statuts, vos discussions comme une sorte de complément à notre instruction professionnelle, et nous chercherons ensemble à tirer toujours quelque conséquence sérieuse des opinions diverses qui seront émises sur toutes les questions.

Est-ce à dire cependant que notre attention ne doive être appelée que sur les grands travaux publics; que nous devions, comme me l'ont dit déjà quelques-uns de nos collègues, nous tenir dans une réserve, trop absolue pour être prudente, de l'examen des inventions? A mon avis, cette réserve ne convient que dans une limite très-restreinte au but de notre Société, comme à l'avenir de notre profession.

Si les travaux publics ont été, pour la plupart d'entre vous, Messieurs, l'occasion d'exercer, sur une grande échelle, une aptitude remarquable et les connaissances que vous avez si laborieusement acquises, il en est un grand nombre aussi qui ont pris, aux travaux plus modestes de l'industrie, une place importante. Si l'École polytechnique, l'École centrale, les Écoles d'arts et métiers n'avaient pas créé toute une population d'Ingénieurs, croyez-vous que la France, en ces trente dernières années, eût pu suffire tout à la fois à la création de ses lignes de fer, au développement de sa marine et à la transformation simultanée de ses principales industries? Les chemins de fer seront bientôt, et quoi qu'on fasse, entre les mains du Corps des ponts et chaussées, car ils sont à eux seuls les principaux ponts et les principales chaussées de la France; l'État dirige les constructions navales avec une supériorité marquée; vous obtiendrez bien rarement, dans ces carrières, la suprématie que quelques-uns d'entre vous ont acquise, par un mérite d'une actualité exceptionnelle, et dont la notoriété rejaillit à juste titre jusque sur votre Compagnie tout entière.

La profession d'Ingénieur est d'ailleurs, dans les travaux publics et ceux de la métallurgie, parfaitement assise, mais elle n'a pas encore, dans la plupart des industries, la même sanction. Bien que reconnue de fait, depuis la cession de l'École centrale à l'État, malgré les diplômes de mécaniciens, de chimistes et de constructeurs que tous les ans l'École délivre, l'industrie ne sait pas assez combien les connaissances que donne cet enseignement ont d'importance pour la plupart des fabrications.

La nouvelle législation des douanes, en décrétant un progrès plus rapide dans la plupart de nos industries manufacturières, a ouvert à l'Ingénieur une nouvelle et importante mission : préoccupés uniquement des vérités techniques, nous ne nous occupons, les uns et les autres, ni du libre échange, ni de la protection : nous n'avons à cet égard qu'une seule doctrine, celle de la perfectibilité des procédés, en vue d'une production moins coûteuse et plus grande; ceux d'entre vous qui, jusqu'à ce jour, ont dirigé des usines, sans prendre jamais parti pour tel ou tel système économique, s'efforceront par de nouvelles recherches de donner à chaque industrie une nouvelle impulsion.

Voyez, par exemple, ce qui se passe en ce moment dans l'industrie métallurgique: on a pu, pendant quelque temps, la considérer pour, de tout point, compromise; et cependant les établissements les plus importants de la Moselle, de la Franche-Comté et du Centre se jettent résolûment, et sans aucune crainte de l'avenir, dans de nouvelles constructions.

Dans la fabrication des machines, des usines considérables se déplacent, du sud au nord, pour conquérir de nouvelles chances de succès; et, se plaçant au point de vue

du combustible et du minerai dans des conditions meilleures, elles y formeront bientôt une barrière, toute pacifique, à l'importation des produits similaires étrangers.

Toutes les industries se préparent à la lutte : les grandes usines deviendront plus vastes encore, et la part que les Ingénieurs civils devront prendre à cette transformation générale leur ouvre de tous côtés de nouvelles voies.

Ce mouvement, tout le présage, doit être pris en sérieuse considération par les jeunes Ingénieurs : l'industrie leur offre, pour leur avenir, bien plus d'éventualités favorables que les travaux publics et les chemins de fer.

Il faut donc, pour s'y préparer, qu'ils se tiennent au courant de tous les progrès de l'industrie ; il faut qu'ils entretiennent chez eux l'esprit d'invention.

Nous verrons donc avec intérêt les communications qui pourront nous être faites sur les procédés nouveaux, sur les inventions déjà réalisées, et cela sera d'autant plus utile que, dans une réunion d'Ingénieurs, où certainement l'esprit de discussion ne saurait faire un seul instant défaut, chaque fait, en apparence minime, pourrait tôt ou tard, et dans la carrière de chacun de nous, trouver son application dans une direction toute différente.

S'il existe entre l'inventeur et l'ingénieur de profession de grandes différences, il ne aut pas, pour cela, méconnaître qu'il y a entre eux plus d'un point de ressemblance, sur lesquels nous ferons bien de nous mettre immédiatement d'accord.

Si l'inventeur est pour vous celui qui, par l'imagination seulement, rêve des horizons nouveaux dans le but d'acquérir tout à coup, ou la célébrité ou la fortune, sans regarder aux moyens de réalisation, sans aucune étude des précédents, sans aucune notion de technologie ou de science, quelquefois même sans aucun sentiment de l'utilité réelle, vous ne trouverez certainement aucun inventeur parmi nous.

Et cependant cette idée qui aura été poursuivie, si incertaine qu'elle soit, dans ses moyens de réalisation, cette idée à laquelle vous ne vous seriez point arrêtés, tant elle vous aurait paru excentrique, ne pourra-t-elle devenir entre vos mains, pour peu qu'elle ne soit pas impraticable, l'objet d'études patientes? et ne viendrez-vous pas, en groupant autour d'elle tous les moyens dont la science de l'Ingénieur dispose, à bout de la réaliser?

Vous ne travaillez, la plupart du temps, ni pour la gloire, ni pour la fortune ; vous ne croyez apporter, dans vos œuvres, qu'une patiente application des principes reçus. Sans vous en apercevoir cependant, sans vous rendre compte de ce qui vous appartient en propre, dans chaque question que vous travaillez, vous inventez à tout moment, mais vous inventez avec une maturité qui exclut toute déception, et avec une générosité dont vous n'avez pas la conscience.

A ce point de vue, vous êtes inventeurs sans le savoir, et vos communications présenteront toutes quelque caractère de nouveauté, que nous saurons mettre en lumière. En se présentant sous votre patronage, les inventions auront revêtu une forme ; elles ne seront pas seulement idéales ou spéculatives, elles auront été matérialisées, dans des conditions étudiées et pratiques, et c'est alors seulement qu'elles auront droit d'entrée parmi nous.

L'invention d'ailleurs, lorsqu'elle a pris un corps certain, peut exercer, jusque dans les travaux publics, une utile influence ; et, pour n'en citer que quelques exemples, ne voyons-nous pas qu'elle est déjà prête à venir en aide aux projets de nos édiles, dans les questions de salubrité, de fumivorité, de ventilation, et qu'elle peut, dans ces circonstances, atteindre quelquefois un degré d'importance tout à fait comparable à celui des travaux publics eux-mêmes.

Si vous appréciez, ainsi que moi, le caractère spécial que la profession d'Ingénieur civil reçoit forcément des circonstances actuelles, qui demandent à l'industrie de lutter de vitesse avec les chemins de fer, nous aurons, croyez-le bien, des discussions qui, sans perdre le caractère d'intérêt général que vous saurez leur donner, nous tiendront, au grand profit de tous, attentifs à tous les genres de progrès techniques.

Un grand nombre de nos collègues sont disséminés dans les usines des départements, soit pour les réceptions de matériels, soit pour des travaux qui leur sont propres. En leur adressant un appel, dans l'esprit qui vient d'être indiqué, nul doute que nous ne puissions, à bref delai, réunir des documents importants et tout à fait certains, sur la constitution d'un grand nombre d'usines, et sur les procédés les plus nouveaux de la grande industrie. C'est là une marche déjà suivie, qui doit donner à vos discussions un grand intérêt.

Quant aux grands travaux de construction, je voudrais que l'un de nous allât de temps en temps les visiter. Quel attrait n'aurait pas, pour tous les Ingénieurs, une description faite *de visu*, par un de nos collègues, des travaux du mont Cenis entre autres. Le budget de la Société permet de consacrer, dans certaine mesure, quelques fonds à des voyages de cette nature, dont les frais, amoindris souvent par les facilités que nous accorderaient les administrations de chemins de fer, seraient intégralement et toujours remboursés, comme règle fixe, par la Société.

En présence de la variété des sujets que notre cadre comporte, nos séances seront bientôt trop remplies; il ne faut pas oublier cependant que nos jeunes camarades doivent faire au milieu de nous leurs premières armes : ils ne trouveraient ailleurs ni la même bienveillance, ni les mêmes conseils, et ils ne devront pas oublier qu'ils ont à nous apporter chacun un travail, que votre nouveau règlement nous fait un devoir d'exiger; qu'ils sachent bien que cette sévérité est dans leur intérêt même, et qu'ils considèrent la communication qu'ils ont à nous faire comme le premier et, pour leurs souvenirs, le plus précieux de tous les essais qui seront réalisés sous l'inspiration de leur initiative. Ils éprouveront quelque retenue à se produire, mais ils retireront certainement une satisfaction bien grande de s'être mis, dès leurs débuts, en complète communication d'idées avec leurs devanciers.

Quant aux Ingénieurs déjà depuis longtemps en exercice, ils se chargeront de leur montrer, par la communication également réglementaire qu'ils ont à produire, pour être admis dans la Société, comment chaque question doit être envisagée sous ses faces multiples, et comment elle n'est jamais résolue qu'après avoir été laborieusement discutée.

Je crains bien qu'en tenant avec exactitude à l'observation de cette partie du règlement, nous n'ayons que bien peu de place à donner à ceux de nos collègues qui déjà nous ont habitués à les entendre; nous faisons appel cependant à la variété de leurs connaissances, et nous commettrions une grande faute si nous ne suivions pas à la lettre les excellentes traditions du Président que vous perdez aujourd'hui.

Désireux de poursuivre son œuvre, en ce qui concerne l'étude, toujours aussi importante des grands travaux publics, nous aurons soin de rappeler à quelques-uns de nos collègues les engagements qu'ils ont pris avec lui.

M. Ivan Flachat donnera, sans aucun doute, à sa notice sur le forgeage des grosses pièces, en Angleterre, le même cachet de distinction qu'à son travail sur le pont Victoria.

M. Doublet doit présenter l'analyse des travaux relatifs à la fabrication des grandes armes de guerre.

Le mémoire de M. Yvert, dont l'examen est seulement retardé, par convenance pour les débats judiciaires engagés dans la belle étude qu'il a publiée, nous fera revenir, par d'excellentes considérations, sur les questions relatives à l'eau d'alimentation de la ville de Paris.

Les mémoires annoncés de MM. Goschler et Verrine, sur les travaux du souterrain d'Hauerstein ; ceux de M. Calmette, sur les prix de main-d'œuvre et sur les progrès de l'outillage à l'étranger, ont un intérêt d'actualité qui doit faire désirer leur prochaine publication.

Quant aux questions nouvelles dont nous voudrions que l'étude prît plus fréquemment une place dans vos travaux habituels, quoique nous ne connaissions personnellement qu'un bien petit nombre de nos collègues, il nous semble que nous pourrions déjà former un programme très-intéressant de sujets à mettre à l'étude.

L'Exposition universelle de Londres sera pour nous une occasion bien heureuse de comparaisons à faire entre les méthodes et les résultats des industries des différents peuples. Combien de renseignements utiles pourrons-nous puiser à cette source, qui n'a pas assez produit en 1851 et en 1855 !

L'administration de la ville de Paris a rendu des ordonnances pour la suppression de la fumée ; est-il bien vrai qu'elle recule devant l'exécution de ces ordonnances, parce qu'elle n'aurait pas la certitude que ses exigences soient d'une réalisation facile? Montrons-lui comment et à quel point le problème est aujourd'hui résolu. Où trouver sur cette question importante plus de faits et une appréciation plus sûre que chez les membres de la Société des Ingénieurs civils ?

Notre collègue, M. Salvetat, ne pourrait-il nous dire quelque chose sur la substitution déjà réalisée, en Angleterre, du chauffage au gaz, dans un grand nombre de procédés, où il est nécessaire d'obtenir une grande régularité et une grande élévation de température ?

M. Limet nous a promis de faire connaître les résultats de ses observations sur cette question si intéressante des changements d'état moléculaire que l'acier présente lorsqu'on le travaille.

M. Alcan, qui a fait, pour son cours du Conservatoire, une si profonde étude de la transformation qui se produit dans les ateliers de filatures, nous dira sans doute les raisons qui la déterminent, et les résultats qu'elle doit produire pour le pays.

M. Brocchi nous montrait dernièrement les produits de la fabrication des agglomérés de houille : c'est là une grande industrie naissante, qui aurait besoin de nous être exposée dans tous ses détails ; il ne refusera pas de nous la décrire.

Nous visitions en octobre dernier les belles salines de Varangéville, où les masses de sel sont divisées en blocs par l'aménagement convenable de petits filets d'eau. Il serait indispensable que notre collègue, M. Daguin, voulût bien nous initier à ce mode d'exploitation encore nouveau.

M. Brüll veut bien se charger de nous faire connaître quelques-uns des nouveaux appareils qui permettent de recueillir, en temps convenable, les matières incrustantes des chaudières à vapeur.

Nous inviterons notre collègue M. Duméry à nous donner communication des faits importants qui résultent déjà de l'emploi de son *déjecteur*.

Nous pourrions, pendant bien longtemps, continuer cette énumération, et pour assurer absolument la marche de nos travaux, il suffirait, soyez-en sûrs, que chacun de nous voulût bien signaler les faits nouveaux qu'il rencontre, de manière que nous puissions charger de leur examen tel ou tel autre de nos collègues.

Telle est la ligne de conduite qui sera, si vous le trouvez convenable, la nôtre. Plus heureux que les Présidents qui nous ont précédé, nous trouvons la position financière de la Société bien assurée; son existence consacrée par une reconnaissance d'utilité publique; les bulletins sont à jour; de nombreux travaux sont annoncés, et bien que nous en ayons personnellement quelques-uns en réserve, nous espérons qu'ils ne vous seront point nécessaires, et que nous pourrons les réserver pour l'époque à laquelle, désormais devenu votre obligé, nous reprendrons dans vos discussions une place que nous nous reprochons d'avoir trop désertée jusqu'ici.

Avant de reprendre le cours habituel de vos travaux, il vous reste, Messieurs, à remercier M. Flachat des soins et des peines qu'il a prises, pendant toute l'année de sa présidence, pour donner un grand intérêt à chacune de vos discussions. Le remercier en outre de la sûreté de jugement avec laquelle il les a dirigées, et des observations si variées qu'il a su introduire dans chacun d'elles, ce serait, suivant nous, aller au delà de ce qu'il doit attendre de nous : cette supériorité de vue lui est si naturelle qu'elle est pour ainsi dire la conséquence forcée du bonheur que vous avez eu de l'avoir à votre tête; il y a longtemps que vous vous en êtes aperçus.

Nous avons également à remercier le bureau tout entier de l'année dernière qui, heureusement pour vous, Messieurs, forme en grande majorité celui de l'année courante. Si quelques noms se trouvent momentanément écartés, ils reviendront, n'en doutez pas, avec des forces nouvelles, et à l'appel qui leur sera fait dans les prochaines élections. Nous savons bien que nous trouverons, chez eux, le concours qu'ils s'estiment heureux d'apporter depuis longtemps aux travaux les plus importants de votre Société.

M. Tresca offre une collection des comptes rendus de l'Exposition de 1851, qu'il a demandée pour la Société à M. le Ministre des travaux publics.

M. Bertot (Henri) expose ses recherches sur la forme théorique à donner aux tubes ascensionnels des eaux dans les puits artésiens.

En prenant pour plan de comparaison un plan horizontal, celui du niveau hydrostatique du puits; les ordonnées étant comptées ainsi de haut en bas. Soient :

H l'ordonnée d'une section quelconque;

S l'aire de cette section;

R son rayon;

V la vitesse de l'eau dans son plan;

P la pression moyenne dans l'étendue de cette section rapportée à l'unité de surface;

H_1, S_1, V_1, P_1, les quantités homologues relatives à la section d'écoulement à l'air libre;

H_2, S_2, V_2, P_2, les quantités homologues relatives à l'orifice d'entrée du tube, dans la couche aquifère;

P_a la pression atmosphérique;

Π le poids du mètre cube d'eau;

$\frac{P}{\Pi}$ représente la hauteur d'une colonne d'eau qui mesure la pression P;

D est le débit du puits.

On suppose d'une manière générale que S et V sont variables avec H, en satisfaisant toutefois à la condition :

$$SV = D.$$

En appliquant le théorème de Daniel Bernouilli, on a, entre les quantités VPH, la relation :

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\Pi} - H = \text{constante.} \qquad (1)$$

En faisant H nul, V sera nul pareillement, puisque l'eau aura atteint le niveau hydrostatique, et P sera égal à la pression atmosphérique ; on a donc :

$$\frac{P_a}{\Pi} = \text{constante};$$

la relation (1) devient donc :

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\Pi} - H = \frac{P_a}{\Pi} \qquad (2)$$

qu'on peut mettre sous cette forme :

$$\frac{D^2}{2gS^2} + \frac{P}{\Pi} - H = \frac{P_a}{\Pi} \qquad (3)$$

en remplaçant V par son équivalent $\frac{D}{S}$.

De cette relation il résulte :

1° Que si le tube est cylindrique, c'est-à-dire si S est constant, quel que soit H, en différenciant l'équation (2) par rapport à H, on a :

$$dP = \Pi dH.$$

C'est-à-dire que, d'une section à une autre placée en contre-bas de la première, la pression augmente du poids de la colonne d'eau comprise entre ces deux sections, absolument comme si l'eau était en repos, car l'intégrale définie de l'équation précédente entre H_1 et H nous donne :

$$P - P_1 = \Pi (H - H_1).$$

Donc tout le poids de la partie de la colonne ascensionnelle animée de la même vitesse dans toutes ses sections pèse sur l'eau à l'orifice d'entrée du tube et fait équilibre à une partie de la pression à laquelle la nappe est soumise.

2° Si on suppose que la pression soit constante dans toute l'étendue du tube, et égale à la pression atmosphérique, l'équation (2) devient :

$$\frac{D^2}{2gS^2} - H = 0.$$

D'où l'on tire :

$$R^4 H = \frac{D^2}{2g\pi^2} \qquad (A)$$

en faisant $S = \pi R^2$ et transformant l'équation.

C'est-à-dire que les rayons ou les diamètres des sections doivent varier en raison inverse des racines quatrièmes des hauteurs du niveau hydrostatique au-dessus de ces sections.

3° En transportant dans l'équation (2) l'hypothèse de P égal à la pression atmosphérique, on a :

$$V^2 = 2gH.$$

C'est-à-dire que la vitesse dans une section quelconque serait alors celle due à la hauteur du niveau hydrostatique au-dessus de la section.

Il conviendrait toutefois de ne pas appliquer cette loi de variation du diamètre à toute l'étendue du tube ; la vitesse serait trop grande à l'entrée, et la contraction viendrait troubler l'effet qu'on attendrait.

Il conviendraît, dans le but d'éviter l'influence, la contraction de la veine, si elle était abandonnée à elle-même, de la préparer au contraire en faisant décroître suivant une loi convenable les diamètres du tube, depuis l'orifice d'entrée jusqu'à un certain point, à partir duquel le tube irait en s'évasant suivant la loi précédente.

Le tube présenterait ainsi une forme analogue au tube de Ventùri, l'étranglement correspondant à la section contractée.

Pour déterminer la forme du tube entre l'orifice d'entrée et la plus petite section, on désignera, dans ce qui va suivre, par V_0 et H_0, les valeurs de V et H pour cette plus petite section.

Si on remarque que la vitesse que possède une tranche en mouvement dans le tube est fonction du temps et de l'ordonnée H ; que l'ordonnée H, représentant les positions que prend cette tranche dans le tube à des époques successives, est donc elle-même fonction du temps ; que la pression P enfin est fonction de V et de H, et par suite fonction implicite du temps ; on aura en différenciant (2) par rapport à t

$$\frac{V}{g}\frac{dV}{dt} + \frac{1}{\Pi}\frac{dP}{dH}\frac{dH}{dt} - \frac{dH}{dt} = 0;$$

mais

$$V = \frac{dH}{dt}.$$

donc en divisant toute l'équation par V on a celle-ci :

$$\frac{1}{g}\frac{dV}{dt} + \frac{1}{\Pi}\frac{dP}{dH} - 1 = 0.$$

En posant arbitrairement :

$$\frac{dP}{dH} = a\Pi$$

a étant une constante. On obtient réductions faites :

$$\frac{dV}{dt} + (a-1)\,g = 0$$

ou

$$\frac{dV}{dt} + g' = 0 \qquad (4)$$

en faisant

$$(a-1)\,g = g'.$$

En prenant pour origine du temps l'instant où la tranche pénètre dans le tube, et intégrant l'équation (4) entre les limites 0 et t, on a :

$$V - V_2 = -g't.$$

En remplaçant V par $\frac{dH}{dt}$ et intégrant entre les mêmes limites, on a :

$$H - H_2 = -\frac{1}{2} g' t^2 + V_2 t.$$

L'élimination de t donne :

$$H_2 - H = \frac{1}{2g'} \left(V^2 - V_2^2 \right) \quad (5)$$

La valeur de g' s'obtient en faisant H égal à H_0 et V égal à V_0 dans l'équation (5).

L'équation (5) peut être écrite comme il suit :

$$\frac{1}{2g'} V^2 - (H_2 + \frac{D^2}{2g' S_2^2} - H) = 0;$$

car

$$V_2 = \frac{D}{S_2}$$

en faisant :

$$H_2 + \frac{D^2}{2g' S_2^2} = H'_2$$

et

$$H'_2 - H = h$$

et remplaçant V par son équivalent $\frac{D}{S}$; on obtient enfin la relation

$$\frac{D^2}{2g' S^2} - h = 0.$$

D'où l'on tire :

$$R^4 h = \frac{D^2}{2g' \pi^2}. \quad (B)$$

Expression d'une loi identique à celle trouvée plus haut pour la partie supérieure du tube, à la constante près dans laquelle g est remplacé par g'.

Application : si on suppose

$$H_0 = 510^m;\ H_1 = 31^m,87;\ H_2 = 600^m;\ R_0 = 0^m,10.$$

On trouve : $V_0 = 100^m$; $R_1 = 0^m,20$; $D = 3141$ litres.

Le débit par minute serait de 188^{mc},196 l.
par jour de 271434^{mc},240 l.

M. Faure fait remarquer que M. Manoury d'Ectot a exposé, dans un travail publié, il y a longtemps déjà, des recherches du même genre, qui s'appliquaient à un appareil analogue à l'appareil Giffard.

En ce qui concerne les conclusions du travail de M. Bertot, il pense que la variation de diamètre indiquée n'est pas assez considérable pour qu'il y ait un réel avantage, en supposant même qu'on soit assuré d'obtenir pratiquement la forme indiquée par la théorie.

M. le Président pense que la discussion doit être divisée en deux parties, qu'il faut examiner d'abord les considérations théoriques et ensuite la réalisation pratique des conséquences de cette théorie.

M. Yvon-Villarceau a examiné, avant la séance, la démonstration produite par

M. Bertot[1], les résultats sont d'accord avec ceux de Poisson; qui a traité le problème plus général de la détermination de la loi du mouvement dans un canal, en tenant compte du temps. C'est effectivement à ce point de vue que s'est placé M. Bertot.

M. Yvon-Villarceau profite de cette circonstance pour rappeler que, lorsqu'on fait des calculs de ce genre, on est obligé d'employer un certain nombre d'inconnues auxiliaires qui disparaissent par élimination. Il faut dans les calculs d'hydraulique, où en général les pressions figurent parmi les inconnues auxiliaires, vérifier, après qu'on a résolu les équations finales, si toutes ces pressions sont positives; sans quoi le problème serait physiquement impossible.

M. Bertot n'a pas eu à se préoccuper de cela, parce qu'il fait la pression constante et égale à la pression atmosphérique.

M. Dru ne croit pas que l'on puisse séparer l'écoulement dans le tube ascensionnel de l'écoulement dans le terrain; car c'est précisément la différence entre la hauteur de charge au-dessus de l'orifice du puits et la somme des hauteurs représentant la perte de charge absorbée par les frottements dans la couche aquifère et dans le tube ascensionnel, qui donne la hauteur génératrice de la vitesse de sortie.

Dans ce cas, l'influence de la variation du diamètre sur le débit dépend de l'intensité des deux frottements ci-dessus; or, comme ces frottements varient avec chaque puits artésien, il n'est pas possible de conclure d'une manière générale.

Pour qu'il y ait lieu d'appliquer les formules proposées, il faudrait que la vitesse dans le tube fût précisément $\sqrt{2gH}$, H étant la hauteur du niveau hydrostatique du puits au-dessus de l'origine. Pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que l'on pût négliger l'accroissement du frottement produit dans le terrain par l'accroissement du débit, ce qui ne peut avoir lieu qu'en considérant l'influence du souterrain du puits comme négligeable, circonstance fort rare dont M. Dru ne connaît pas d'exemple.

Il faut de plus supposer que le fluide arrive au tube avec une vitesse sensible; ce qui n'a généralement pas lieu, les puits artésiens étant le plus souvent alimentés par l'eau filtrant au travers des marnes perméables, dans lesquelles elle se meut avec une vitesse peu sensible.

Au point de vue pratique, il y aurait à examiner de près si les changements considérables dans la vitesse n'auraient pas de graves inconvénients, surtout pour les dégorgements des sables entraînés par l'eau ascendante.

M. Yvon-Villarceau fait observer que M. Bertot n'a pas tenu compte des frottements qui doivent avoir une influence sur le résultat final; et il lui en a exprimé ses regrets. Dans l'état actuel, il lui est impossible de se prononcer sur la valeur pratique de l'idée de M. Bertot.

M. Bertot pense que les frottements sont négligeables, et pour cette raison il n'en a pas tenu compte. Les expériences faites pour déterminer l'intensité des frottements des corps liquides sur les solides laissent à désirer. Dans certains cas, l'application aux calculs des coefficients obtenus a donné des résultats en contradiction avec les résultats de l'expérience directe.

M. Fèvre a fait, au chemin de fer du Nord, des expériences dans lesquelles, par l'interposition de corps liquides entre deux corps solides, le frottement était très-faible, bien que la vitesse fût très-grande.

1. La note communiquée à M. Yvon-Villarceau différait dans son exposé de M. Bertot, en ce que la méthode employée pour l'étude du mouvement dans la partie supérieure du tube, était celle que M. Bertot applique ici au mouvement du liquide à la partie inférieure.

M. Yvon-Villarceau veut bien admettre qu'il n'y ait pas, pour les liquides, ce qu'on appelle le frottement, lorsqu'il s'agit de corps solides ; mais le mouvement de translation du liquide produit sur les molécules des mouvements de giration qui absorbent un certain travail.

M. Nozo, en ce qui concerne les frottements des fluides sur les parois, marchant à de très-grandes vitesses, dans des conduites débouchant à l'air libre à pleine section, dit que, dans des expériences faites sur l'écoulement de la vapeur à haute pression, il a été constaté dans plusieurs cas qu'un manomètre placé à faible distance de l'orifice de sortie n'indiquait aucune pression sensible, lorsque la prise de vapeur débouchait sur la paroi même du tuyau, et que pour obtenir des indications positives de pressions il fallait enfoncer le tube communiquant avec le manomètre, jusque vers le centre de la colonne en mouvement et encore tourner son ouverture en sens contraire du mouvement.

Une expérience analogue faite dans les conduites d'air d'un ventilateur a permis de constater le même résultat.

M. Nozo ne comprend pas que le frottement acquière une grande importance là où il y a dès lors une si faible pression.

M. Arson fait observer qu'un phénomène de même genre se produit lorsqu'on fait écouler du gaz avec une grande vitesse dans un tube souple, il y a dépression du tube jusqu'à 10 ou 15 mètres de l'orifice.

Plusieurs membres désireraient, avant d'émettre un avis, pouvoir examiner à loisir les calculs de M. Bertot ; ils croient qu'il conviendrait de tenir compte du frottement, et ils voudraient qu'on examinât jusqu'à quelle limite les tables de MM. Mary et Dupuit, qu'on emploie journellement dans le calcul des distributions d'eau, ne pourraient pas être appliquées au cas actuel.

La suite de la discussion est remise à la prochaine séance.

MM. du Pré, Leclerc et de Marcilly ont été reçus membres de la Société.

Séance du 24 Janvier 1862.

Présidence de M. Tresca.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion de la note de M. Henri Bertot sur la forme à donner aux tubes ascensionnels des eaux dans les puits artésiens.

Avant de donner la parole à M. Yvon-Villarceau, M. le Président croit devoir rappeler que la question, pour l'ordre de la discussion, doit se diviser en deux parties : la partie théorique, qui consiste à étudier les lois de l'écoulement de l'eau dans le tube de la forme proposée par M. Bertot ; la partie pratique, qui aura pour but d'examiner la possibilité de l'application des conséquences de la théorie.

M. Yvon-Villarceau regrette que M. Bertot n'ait pas continué de faire usage du

théorème de Bernouilli pour le calcul du mouvement, dans la partie inférieure de son tube : ce théorème aurait conduit immédiatement aux formules que M. Bertot se proposait d'obtenir : la formule du mouvement varié n'est point nécessaire quand il s'agit d'un régime permanent comme dans le cas actuel.

M. Yvon-Villarceau dit qu'en négligeant les frottements et les contractions le tube de M. Bertot produirait un écoulement égal à celui d'un tube cylindrique qui aurait le même diamètre que celui de M. Bertot à l'orifice d'écoulement; il demande alors quels sont les motifs que l'on peut avoir de préférer la forme proposée à la forme cylindrique : c'est là le point sur lequel il croit bon de provoquer des explications.

M. Charles Callon fait remarquer que le travail en discussion n'a aucun égard aux frottements, hypothèse à l'appui de laquelle M. Bertot a cru pouvoir citer certaines expériences, sur les frottements des *solides*, qui ont donné des coefficients bien inférieurs à ceux que l'on admet généralement. Il est vrai, ajoute M. Callon, que les expériences de M. Bochet, Ingénieur des mines, sur le frottement des solides, ne sont pas en tout point conformes à celles de Coulomb et de M. le général Morin; mais il ne pense pas que ces expériences aient le moindre rapport avec le frottement des *liquides*, ni qu'elles puissent autoriser à négliger ces frottements dans les tuyaux de conduite, lorsque le liquide est animé d'une grande vitesse.

M. Callon rappelle, que la formule empirique, donnée par Prony, confirmée par Eytelwein et par d'autres expérimentateurs, est indépendante de la pression dans les conduites, que cette formule dérive d'expériences faites jusqu'à 3 mètres de vitesse par seconde, vitesse, il est vrai, bien inférieure à celles qui figurent dans l'exemple qui occupe la Société; mais M. Callon ne voit pas, dans cette différence, un motif tant soit peu valable d'abandonner la formule ordinaire et de négliger les frottements. Si l'on considère cette formule, on voit de suite que le second terme, contenant la vitesse au carré, a un coefficient environ vingt fois plus grand que celui du premier terme, qui ne contient la vitesse qu'à la première puissance; il en résulte que cette vitesse a une influence énorme sur le frottement. Pour bien comprendre les conséquences qui peuvent en résulter dans le cas présent, il suffit de se reporter aux données numériques, choisies par M. Bertot, comme exemple d'application de ses propositions. Ces données sont les suivantes :

1° Diamètre du tube à sa partie inférieure : $0^m.70$;

Vitesse de l'eau dans cette section : $8^m.17$ par seconde.

2° Diamètre de la section la plus rétrécie, située à 90^m au-dessus de la partie inférieure : $0^m.20$;

Vitesse de l'eau dans cette section : 100^m.

3° Enfin, diamètre de la section au niveau du sol, située à $568^m,13$ au-dessus de la partie inférieure : $0^m.40$;

Vitesse de l'eau dans cette section : 25^m.

Si l'on suppose un tube cylindrique ayant la même hauteur $568^m,13$ et un diamètre de $0^m.70$, il est évident, *à priori*, que le frottement dans ce nouveau tube, pour un même débit, sera beaucoup moindre que dans le tube proposé. Or la perte de charge dans un tube de $0^m.70$ de diamètre, pour une vitesse de $8^m.17$ par seconde, est de $0^m.134$ par mètre courant, ce qui donne une perte de charge totale, pour une longueur de $568^m.13$, de 76^m environ. La vitesse de $8^m.17$ par seconde n'est pas tellement grande qu'elle ne puisse être comparée à celles des tables de Prony; il en résulte,

que la perte de charge calculée est, nécessairement, assez rapprochée de celle que l'on éprouverait en réalité.

Si l'on admet, en poursuivant la même idée, que le tuyau proposé soit remplacé par un tuyau cylindrique ayant 0^{m}.40 de diamètre, et si la vitesse dans ce nouveau tuyau est de 25^{m} par seconde pour conserver le même débit, on pourra encore admettre que le frottement, dans ce nouveau tuyau, sera inférieur à celui qui existerait dans le tuyau de M. Bertot. Or on trouve, dans ce cas, que la perte de charge, par mètre courant, est de 2^{m}.00 environ, ce qui donne une perte de charge totale de près de 1,200 mètres. Ce résultat indique une *impossibilité* qui provient de la trop grande vitesse supposée. Mais lorsqu'on admettrait (ce dont on n'a pas même un *commencement de preuve*) que, pour ces vitesses énormes, le frottement fût réduit au-dessous de la valeur donnée par Prony, il ressortirait toujours, avec la dernière évidence, des calculs ci-dessus, que la perte de charge due aux frottements de l'eau dans le tube proposé serait d'une importance énorme et détruirait toute l'économie des calculs de M. Bertot.

En résumé M. Callon, tout en rendant pleine justice à ce que ces calculs ont d'ingénieux, ne les croit point applicables à la question des puits artésiens.

M. Dubied dit qu'il avait préparé quelques notes sur le travail de M. Bertot pour les lire en séance. Mais, d'après ce que vient d'exposer M. Callon, ce serait faire des répétitions inutiles que de les reproduire en totalité; aussi se bornera-t-il à indiquer une comparaison entre le tube de M. Bertot et le puits de Passy. Dans le tube de M. Bertot la vitesse de sortie est de 25^{m}, vitesse qui correspond à une hauteur génératrice de 31^{m}.87 ; tandis qu'au puits de Passy la vitesse de sortie, par suite du débit de 16,000^{m} 3, par jour, est de 0,74 seulement, vitesse qui correspond à une hauteur génératrice de 0^{m}.03 environ.

Il est facile de deviner les causes de ces différences, en supposant les frottements nuls, dans la colonne ascensionnelle.

Elles proviennent de la longueur, de l'exiguïté et des variations de section des passages que l'eau traverse dans le sol à partir de son point de départ jusqu'à la base du tube.

Il se produit, dans ces passages ou canaux, des frottements et des pertes de charge, ou de puissance vive, qui sont tels que la pression du liquide à la base du tube n'est suffisante, pour permettre à l'eau d'atteindre le sommet de la colonne ascensionnelle, qu'à la condition que sa vitesse ne dépasse pas 0^{m}.74 à sa partie inférieure, et que le débit ne soit pas supérieur à 16,000^{m} 3 par jour.

Il est dès lors évident qu'à Passy la pression à la base du tube, exprimée en mètres d'eau, dépasse la hauteur dudit tube d'une quantité très-inférieure à 31^{m}.87; chiffre admis par M. Bertot dans son exemple numérique.

Ou bien, si cette différence existe dans le puits de Passy, il faut attribuer l'écart, entre le débit calculé et le débit réel, aux frottements et aux autres pertes de puissance vive dans la colonne ascensionnelle.

M. Henri Bertot répondant à la première partie des observations de M. Yvon-Villarceau, dit que la méthode qu'il a suivie dans son calcul n'est point en cause; elle lui a semblé préférable; le point important pour la discussion est que les formules et les lois qu'elles représentent soient exactes, et elles le sont.

En second lieu, si M. Bertot a adopté la forme qu'il présente de préférence à la forme cylindrique, bien que théoriquement et abstraction faite de toute résistance on attribue le même débit à l'une ou à l'autre forme, pour le même orifice d'écoulement, cela

tient, comme il l'a dit dans le cours de son calcul, à ce que le poids de la colonne ascensionnelle pèse sur l'orifice d'entrée du tube cylindrique, que par suite la contraction de la veine en est influencée, et qu'il s'est proposé de préparer cette contraction de manière à obtenir toute la vitesse possible dans la section contractée et qu'en même temps la section contractée occupe toute la section du tube.

En réponse aux observations de M. Callon, M. Bertot maintient que c'est bien intentionnellement qu'il n'a pas tenu compte de résistances passives, et surtout de la loi représentée par la formule de M. de Prony. Il ne prétend pas critiquer l'emploi de cette formule, mais il pense qu'on ne doit en faire usage que dans les conditions de formes des tuyaux, de pente de la pose, et dans les limites de vitesses qui reproduisent les circonstances des expériences ayant servi de bases à l'établissement de ces formules.

Il dit que ces formules résument indistinctement toutes les causes de perte de charge, connues ou inconnues, qui peuvent exister dans une conduite, et on ne peut en conclure à l'existence d'une force tangentielle à la colonne liquide, due au contact de l'eau avec la paroi du tube, et cause unique de la diminution du débit. Ces formules ne lui paraissent donc pas applicables quand le diamètre du tube proposé varie dans un but déterminé, celui de faciliter la contraction forcée de la veine, et de donner plus de liberté à l'écoulement en satisfaisant à ses exigences; en un mot, de supprimer ainsi certaines résistances incontestablement liées à la forme cylindrique. Elles ne lui paraissent pas plus applicables lorsque la pente atteint la verticalité au lieu d'être insensible.

En présence des modifications heureuses que l'emploi d'ajutages apporte à l'écoulement par des orifices percés en mince paroi, M. Bertot pense qu'il n'est point illogique d'attendre de l'emploi de la forme qu'il propose une amélioration réelle dans le débit.

M. Callon pense que les idées émises par M. Bertot sur les résultats des expériences de Dubuat, Prony, Eytelwein, d'Aubuisson, etc., sont inexactes, les expériences de ces savants ayant été faites, avec beaucoup de soin, sur des tuyaux d'une grande longueur posés en ligne droite. Quoique n'ayant pas présents à l'esprit les détails des expériences faites par ces observateurs, ni les précautions prises par eux pour dégager les diverses inconnues, il croit cependant pouvoir affirmer qu'ils ont tenu compte du changement brusque de vitesse à l'entrée des conduites dans tous les cas où la perte de charge due à cette circonstance ne pouvait être négligée.

M. Faure ne voit aucune raison pour mettre en doute des formules jusqu'à présent acceptées: il croit donc prudent de s'abstenir, puisqu'on n'a aucune expérience qui vienne indiquer de nouvelles formules pour remplacer les anciennes.

M. Bertot répond qu'il ne prétend pas que les formules actuelles ne soient pas applicables, il dit simplement qu'il peut parfaitement se faire que les frottements dans les tuyaux cylindriques ne croissent pas aussi vite que l'indique la formule empirique, lorsque la vitesse dépasse certaine limite; d'ailleurs les conditions de fonctionnement de son tube sont complétement différentes de celles des expériences qui ont servi de base à la formule.

M. Callon fait observer que le tube de M. Bertot, ayant 480 mètres environ depuis la section étranglée jusqu'à l'orifice supérieur pour un accroissement de diamètre de $0^{m}.20$, ne présente qu'une augmentation de 4 dixièmes de millimètre par mètre; ce qui le rapproche singulièrement d'un tube *cylindrique*. Or c'est ici le cas de faire remarquer que les expériences sur le frottement de l'eau dans des *canaux* décou-

verts, *de diverses formes* TRÈS-ÉLOIGNÉES de la forme de *tuyaux* cylindriques, ont donné des coefficients TRÈS-PEU DIFFÉRENTS de ceux relatifs à ces tuyaux.

M. YVON-VILLARCEAU partage l'opinion de M. Callon en ce qui concerne la convenance d'appliquer la formule de Prony dans les cas usuels : il fait toutefois remarquer que, si M. Bertot avait eu égard aux frottements, il aurait été conduit à d'autres formes qui n'auraient pas présenté les inconvénients dont M. Callon a pris la peine d'évaluer numériquement l'importance.

M. TRESCA, cédant le fauteuil à M. Callon pour prendre la parole, rappelle que M. Bertot a posé l'équation :

$$\frac{D^2}{2gs^2} + \frac{P}{\Pi} - H = \frac{P_a}{\Pi}$$

dans laquelle D est le débit du puits ;
S la section du tube à l'endroit considéré ;
P la pression dans cette section ; P_a la pression atmosphérique ;
Π le poids du mètre cube d'eau ;
H le niveau hydrostatique de la tranche considérée.

En supposant la pression P constante et égale à P_a pour toutes les tranches du tube, en remplaçant S par sa valeur πR^2, on arrive à la formule :

$$\frac{D^2}{2g\pi} = HR^4,$$

d'où on conclut $HR^4 =$ constante.

De l'hypothèse $P = P_a$ on tire de suite l'équation

$$V^2 = 2gH.$$

C'est-à-dire que M. Bertot admet que dans chaque tranche de son tube l'eau aura la vitesse due au niveau hydrostatique de cette tranche ; or cette vitesse est une limite qu'on ne peut atteindre par suite du frottement, non-seulement de l'eau sur le tube, mais encore dans tous les canaux alimentaires que l'eau doit parcourir avant d'atteindre le réservoir du puits.

Il considère d'ailleurs les raisonnements de M. Bertot comme parfaitement applicables à tout autre appareil, et il ne doute pas que, dans les pompes par exemple, on ne puisse, au point de vue théorique, obtenir un avantage marqué de l'évasement calculé comme l'a fait l'auteur de la note sur des principes qui sont exacts, lorsqu'on fait abstraction des frottements.

M. BERTOT répond que les lois déduites de ses calculs sont parfaitement exactes, en négligeant, comme il l'a fait, l'action de la paroi du tube sur la colonne ascensionnelle et par suite la formule :

$$V^2 = 2gH$$

est vraie pour toutes les tranches de son tube [1].

Il est d'ailleurs disposé à reconnaître les difficultés, non insurmontables, qu'on lui a opposées sur la possibilité de l'exécution de son tube ; mais il reste convaincu que, de deux tubes, l'un cylindrique, l'autre ayant la forme qu'il propose, le diamètre de l'orifice de déversement restant le même, le second présenterait un débit plus considérable que le premier.

1. L'évasement inférieur ayant précisément pour objet d'obtenir cette vitesse V due à la chute dans la section étrangère.

M. Dubied est d'avis qu'on ne peut attaquer, si l'on fait abstraction du travail négatif des frottements, les conclusions que M. Bertot développe dans la première partie de sa note, et qui sont relatives à l'élévation des liquides dans des tubes dont le diamètre croît de bas en haut.

A titre de développement il ajoute que : dans le tube proposé par M. Bertot, les sections sont déterminées de telle sorte que la vitesse d'une tranche liquide, passant d'une section inférieure à une section supérieure, se réduit de la quantité nécessaire pour que la diminution de sa puissance vive soit précisément égale au travail négatif exercé sur elle par la pesanteur entre les deux sections considérées.

Il résulte de là qu'on peut admettre que les diverses tranches de liquide comprises entre deux plans horizontaux très-rapprochés se meuvent comme si elles étaient isolées et qu'elles diminuent de vitesse et d'épaisseur en augmentant de section, de telle sorte qu'il ne se produit entre leurs molécules que des vitesses relatives très-faibles, ayant principalement des directions horizontales, leur diamètre restant de plus constamment égal à celui du tube.

Ce dernier présente exactement à l'intérieur la forme extérieure que prendrait la veine fluide, si elle s'élevait librement sans être divisée par l'action d'un milieu gazeux.

Ceci nous explique pourquoi la pression reste constante et égale à la pression atmosphérique sur toute la hauteur de la colonne ascendante.

Il est à supposer que, dans ces conditions, le travail négatif provenant des actions mutuelles des molécules est réduit au minimum, et qu'il en est de même du frottement de l'extérieur du liquide contre les parois du tube. — En poussant le raisonnement qui précède à l'extrême, on arriverait à reconnaître (si l'on supposait, par exemple, le tube agrandi intérieurement d'un centimètre en diamètre sur toute sa hauteur, à partir d'une certaine distance de sa base) qu'il n'y aurait pas de contact entre ses parois et le liquide, et que le frottement du tube serait complétement supprimé. Il n'admet pas que cette hypothèse soit réalisable d'une manière absolue, et désire qu'il soit bien entendu qu'il ne conclut pas à l'absence totale du travail négatif des frottements. — Il a simplement pour but de prouver qu'il est possible qu'une colonne fluide, s'élevant verticalement dans le tube de M. Bertot, ne se trouve pas dans les conditions ordinaires des liquides traversant les tuyaux de conduite d'eau, et qu'il n'y a peut-être pas lieu d'appliquer, rigoureusement à ce cas particulier, les formules expérimentales établies par Prony, Eytelwein et d'Aubuisson.

M. Degousée fait remarquer qu'à part le frottement du liquide dans le tube ascensionnel, il y a encore un frottement provenant des matières solides entraînées par l'eau.

Quant au point de vue pratique, M. Faure se borne à faire remarquer qu'eu égard à la longueur du tube, il est difficile de croire qu'un si faible rétrécissement puisse avoir un si grand résultat.

M. le Président remercie M. Bertot de sa communication qui a été l'objet d'une discussion intéressante.

L'ordre du jour appelle l'analyse du mémoire de M. Dallot sur la *Construction du pont de l'Escaut à Audenarde*, par M. Lefèvre. M. Lefèvre n'ayant pu assister à la séance, M. Richoux se charge d'en faire la lecture. Ce travail sera imprimé *in extenso* dans le Bulletin.

MM. Fourneyron, Laboulaye; Piret fils, Badois, Farcot père, Farcot Emmanuel et Farcot Abel ont été reçus membres de la Société.

Séance du 7 Février 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. Faure présente à la Société, au nom de M. Bélanger, un exemplaire de la seconde édition de son ouvrage sur la *Théorie de la résistance de la torsion et de la flexion plane des solides.*

M. le Président prie M. Faure de vouloir bien exprimer à M. Bélanger des remerciments au nom de la Société.

M. Daguin écrit pour annoncer qu'il fera, dans une de nos prochaines séances, une communication sur ses *salines de Saint-Nicolas.*

Il est donné communication d'une lettre de M. Barbier, manufacturier à Clermont-Ferrand, par laquelle il fait connaître à la Société les conditions d'un concours ouvert, sur sa demande, par la commission impériale de l'Exposition universelle de Londres pour l'année 1862, pour l'étude d'un projet d'éducation internationale; des programmes de ce projet sont déposés au siége de la Société.

M. Lacroix, éditeur, adresse une collection d'ouvrages dont il fait hommage à la bibliothèque de la Société.

L'ordre du jour appelle la discussion du mémoire de M. Dallot sur la *Construction du pont de l'Escaut à Audenarde.*

M. Ivan Flachat appelle l'attention de la Société sur un passage du mémoire qui indique le principal avantage, au point de vue de l'économie du métal, du pont en *arcs soustendus* ou *bow-strings*, comme le pont d'Audenarde, sur les ponts tubulaires ou à poutres rigides. Dans les premiers, le poids du tablier se partage uniformément entre toutes les pièces du tympan, qui n'ont à résister qu'à la *traction*, tandis que, dans une poutre rigide, les efforts de *traction* et de *compression* auxquels l'âme est soumise augmentent, en se rapprochant des appuis, où ils atteignent le poids d'une demi-travée.

Après avoir écarté les ponts suspendus et les ponts en arc, dans lesquels les composantes horizontales des efforts aux amarres ou aux naissances sont équilibrées par les maçonneries, et qui doivent ainsi théoriquement employer moins de métal que les autres, M. Ivan Flachat passe en revue les différents types de ponts métalliques, et montre que la forme la plus économique, en ne considérant que les pièces principales, et en négligeant l'entretoisement et le contreventement, doit être précisément celle appliquée aux ponts de Windsor et d'Audenarde.

Mais, en fait, et malgré ces éléments favorables, le pont d'Audenarde est exécuté dans les conditions suivantes. Sa portée étant de 27^{m}800, le poids du fer employé est de 84,535 kilog., ce qui correspond à 3,041 kil. par mètre courant de double voie entre les appuis. Les ponts construits pour des ouvertures de dimensions voisines montrent que cette ouverture peut être franchie à raison de 2,000 kil. environ par mètre de double voie. Il est juste cependant d'observer que plusieurs ponts tubulaires ont absorbé un poids au moins égal de matière. Ce ne sont pas, il est vrai, des types présentés comme économiques, et, en définitive, malgré l'opinion expri-

mée dans le mémoire, le pont sur l'Escaut n'est pas un ouvrage léger et économique.

M. Ivan Flachat signale l'énorme charge du ballast et des voûtes en maçonnerie employés au pont d'Audenarde, comme la cause de l'élévation de son poids. D'après le mémoire, cette charge permanente est évaluée à environ 9,200 kilog., tandis que la voie et la portée métallique ne pèsent que 2,800 kilog. approximativement. Dans la grande majorité des ponts en fer que l'on construit aujourd'hui, les rails reposent directement sur les pièces de la charpente métallique. On comprend de suite avec quel désavantage l'arc soustendu ou pont de l'Escaut entre en parallèle avec les autres ouvrages en fer de même ouverture; mais on peut supposer que si la charge totale avait été réduite, de 20,000 kil. par mètre, à 11,600 kil., en supprimant les voûtes et le ballast, le poids du pont serait abaissé au-dessous du minimum de 2,000 kil. indiqué ci-dessus. M. Ivan Flachat croit que, pour un pont en tôle, et de grande portée, cette suppression pourrait se faire sans inconvénient; et que, pour un pont comme celui d'Audenarde, on pourrait faire les arcs en fonte; car la dépense serait moindre, le poids du métal restant le même. Il insiste sur l'utilité, dans tous les cas, des appareils pour régler la tension des tiges de suspension. Ces appareils ont été omis au bow-string sur l'Escaut.

Venant ensuite à l'articulation, à la clef, introduite pour la première fois dans une ferme de pont par M. Dallot, M. Ivan Flachat dit que cette idée, comme celle de l'articulation aux naissances, appliquée au pont du chemin du Nord sur le canal de Saint-Denis, trouvait depuis longtemps son application dans la plupart des fermes, pour couvertures de bâtiments, articulées au faîte et aux appuis. C'est à l'expérience à prononcer sur la convenance de ces dispositions, dont les avantages sont contestés par quelques ingénieurs dans leur application aux ponts. L'auteur du mémoire croit pouvoir augmenter la tension du tirant ou longeron, en serrant les coins à la clef. Mais il est clair que ce résultat ne pourrait être obtenu qu'à la condition de pouvoir régler d'ailleurs la tension des tiges de suspension; autrement, le serrage des coins à la clef peut augmenter la flèche des arcs, et la tension des tiges voisines plus que celle du tirant, si les arcs ont quelque élasticité. Ce même résultat a été recherché au pont de Windsor, en relevant le tirant, par le simple serrage des tiges de suspension; mais l'addition de coins à la clef a l'avantage de permettre de ne rien changer au niveau du tirant et de la voie par conséquent.

L'ordre du jour appelle ensuite la communication de M. Tronquoy sur l'*appareil purificateur* de M. Wagner.

M. Tronquoy indique que le but de l'appareil inventé par M. Wagner est l'épuration de l'eau au moyen de la vapeur, c'est-à-dire par une élévation de la température, la précipitation des sels en dissolution dans l'eau, de manière que, lorsque celle-ci est introduite dans les chaudières, elle n'y produise pas des incrustations.

M. Wagner, propriétaire d'une usine à Paris, dans le quartier Picpus, n'ayant à sa disposition que des eaux de mauvaise qualité, a recherché le moyen de les purifier. Il a fait des essais nombreux, qui remontent déjà à plusieurs années, pour arriver enfin à un type d'appareils, dont les dispositions varient quelque peu suivant que ces appareils s'appliquent à des chaudières de machines fixes ou mobiles et qu'on peut ou non utiliser la vapeur détendue.

L'appareil qui s'applique aux chaudières de machines fixes sans condensation, dont M. Tronquoy soumet un modèle à la Société, peut être considéré comme formé de trois parties : 1° un réservoir dans lequel, par simple décantation, se déposent les matières tenues en suspension dans l'eau; 2° une caisse contenant un système de

plateaux sur lesquels l'eau coule en nappe mince en sens inverse de la vapeur d'échappement, s'échauffe et laisse déposer les sels qu'elle contenait en dissolution ; 3° enfin, une série de filtres disposés dans un vase communiquant avec la caisse à plateaux, et destinés à arrêter les sels cristallisés qui ne se seraient pas déposés.

Les deux premières parties de l'appareil construit entièrement en tôle sont réunies ensemble. Elles ont la forme rectangulaire. L'eau, qui arrive dans le réservoir placé au-dessus de la caisse, passe dans celle-ci par un tube dont l'orifice supérieur est en contre-haut du fond du réservoir, de manière à permettre la décantation dont nous avons parlé.

Les plateaux destinés à recueillir les dépôts sont en tôle ; ils ont à peu près les dimensions de la caisse elle-même ; ils sont munis de rebords sur trois côtés, et disposés sur des crémaillères formant coulisse, de telle sorte qu'il y ait alternance dans la position de ces rebords, afin d'obliger l'eau, qui arrive à la partie supérieure, à passer successivement sur tous les plateaux.

Au-dessous du dernier plateau, et presque en contact, débouche le tuyau d'échappement de vapeur qui se termine par une pomme d'arrosoir.

La vapeur prend donc, en sens inverse, le même chemin que l'eau. Dans ce double parcours il y a échange de température. L'eau s'échauffe jusqu'à 80 ou 90°. Les sels en dissolution se déposent, une partie de la vapeur se condense, tandis que le reste s'échappe librement dans l'atmosphère par un tuyau disposé à cet effet à la partie supérieure de l'appareil.

Mais les plateaux ne retiennent pas la totalité des dépôts qui se sont formés à la faveur de l'élévation de la température ; et, afin de faciliter la séparation des cristaux, qui sont en suspension dans l'eau, sous forme de poudre fine, la caisse au-dessous des plateaux présente une certaine capacité dans laquelle se fait une décantation semblable à celle qui a eu lieu dans le premier réservoir, c'est-à-dire que l'orifice du tube qui conduit l'eau dans les filtres est placé à une certaine distance au-dessus du fond.

Ces filtres sont en bourre de soie, ils sont contenus dans une petite caisse en fonte d'où l'eau est prise par les pompes d'alimentation de la chaudière. Cette caisse est fermée par un couvercle serré sur une bande de caoutchouc par des boulons à charnière.

Ce mode de fermeture est employé dans toutes les parties de l'appareil, et particulièrement aux portes, dont, pour faciliter le nettoyage, est munie la caisse qui contient les plateaux.

L'appareil comprend encore quelques dispositions ingénieuses, qu'il est utile de signaler :

Un robinet, placé en bas du réservoir inférieur, permet de prendre de l'eau chaude purifiée, et un trou d'homme permet l'enlèvement des dépôts non retenus sur les plateaux.

L'écoulement de l'eau, du réservoir supérieur dans la caisse, est réglé par un robinet que commande une chaîne sans fin. Cette chaîne est elle-même mise en mouvement par une roue dentée, qui fonctionne au moyen d'une manivelle, dont la position sur un cadran indique l'ouverture du robinet.

Quant aux résultats obtenus, ils sont aussi satisfaisants qu'on peut le désirer.

Les dépôts qui se forment dans les chaudières ne sont plus adhérents. Un simple lavage suffit pour les enlever. Il paraîtrait même que les dépôts antérieurs à l'emploi de l'appareil disparaissent peu à peu.

Dans un appareil qui fonctionne chez M. Armet de Lisle, fabricant de bleu d'outremer et de sulfate de quinine, à Nogent-sur-Marne, il a été recueilli sur les plateaux, dans l'espace d'un mois, 400 kilog. de dépôt. L'eau qui a produit ces dépôts alimentait deux générateurs, de 15 chevaux chacun, et en outre fournissait à une consommation d'eau chaude de 6 mètres cubes par jour.

M. Tronquoy regrette de ne pouvoir donner en grand nombre des résultats fournis par l'analyse chimique, toutefois il indique la moyenne de plusieurs expériences :

De l'eau de puits ayant été prise au moment où elle allait être introduite dans l'appareil, le résidu obtenu par l'évaporation à siccité de 1 litre, dans une première expérience, de 1 gr. 815, et dans une autre, de 1 gr. 410.

La même quantité d'eau, après son passage dans l'appareil, par l'évaporation à siccité, dans l'expérience 0 gr. 365, soit 20 0/0 seulement de la quantité totale des sels qui y étaient survenus à l'origine; et dans la seconde expérience 0 gr. 245, soit 17 0/0.

L'analyse chimique a fait voir que les résidus se composaient dans la première expérience, de :

	Avant le passage dans l'appareil.	Après le passage dans l'appareil.
Bicarbonate et carbonate de chaux et magnésie. . .	1 gr.140	0 gr.180
Sulfate de chaux et magnésie.	0 .640	0 .160
Silice, chlorures, matières végétales et pertes. . .	0 .042	0 .025
Total.	1 .825	0 .365

Pour les machines à condensation, l'appareil est exactement le même, si ce n'est que la vapeur injectée est prise directement dans la chaudière par un tube qui passe derrière l'autel du foyer, de façon à surchauffer la vapeur.

Il est à remarquer que dans les appareils destinés aux générateurs de machines sans condensation, toute la vapeur n'est pas utilisée; il n'y en a que 1/4 à 1/5 environ. On voit, d'après cela, que pour les chaudières de machines à condensation, en tenant compte du surchauffage de la vapeur, il ne faudra qu'une prise de vapeur très-faible pour obtenir l'épuration de l'eau dans l'appareil.

M. Tronquoy, sur la demande de M. Faure, indique que des appareils de M. Wagner fonctionnent chez M. Durenne qui les construit; chez M. Collas à Courbevoie (force de 15 chevaux), chez M. Armet de Lisle, à Nogent, enfin chez MM. Hutchinson, Smith et Cie, à Paris, dans le faubourg Saint-Antoine (300 chevaux), et que l'économie de combustible est, dit-on, de 30 0/0.

En terminant, M. Tronquoy dit que, pour compléter la communication, il aurait à entretenir la Société de l'application de l'appareil de M. Wagner aux chaudières des locomotives et autres, pour lesquelles il faut réduire autant que possible l'espace occupé, mais que M. Brüll s'étant occupé plus spécialement de cette question, il croit devoir lui céder la parole.

M. Brull expose que, s'étant trouvé en relation avec un des ingénieurs du matériel de la Société des chemins de fer de l'État autrichien, celui-ci lui a envoyé, il y a environ deux années, la description et le dessin d'un appareil purificateur inventé par M. Schau, directeur de la fabrique de machines de Neustadt en Autriche. Cet appareil présente avec l'appareil de M. Wagner, dont la description vient d'être faite, des analogies telles, qu'il pourra être intéressant de décrire d'abord l'appareil de M. Schau, puis de le comparer à celui de M. Wagner.

L'invention de M. Schau repose sur ce principe que c'est au moment où l'eau vient à bouillir, et même lorsqu'elle atteint une température voisine de l'ébullition, que se déposent la plupart des sels solubles qui forment d'ordinaire les incrustations. Si donc on élève suffisamment la température de l'eau dans une capacité spéciale, avant de l'introduire dans la chaudière, les précipités se déposeront à l'état de boue dans cette capacité disposée en vue d'un nettoyage facile, et il ne pénétrera dans la chaudière que de l'eau purgée et épurée.

L'ébullition de l'eau se fait dans une boîte cylindrique posée sur la chaudière et communiquant avec le réservoir de vapeur par une rehausse en fonte. Elle est produite par la vapeur même qui afflue et se condense dans cette boîte. L'eau est introduite à la partie supérieure du dôme par une pomme d'arrosoir; elle tombe sur une série de plats étagés en tôle emboutie, percés de trous qui ne se correspondent pas d'un plateau au suivant. Ces plats sont enfilés sur des tiges fixées à la rehausse, et retenus à distance fixe par des entretoises creuses qui peuvent être des bouts de tubes à air chaud, et par des clavettes introduites dans les extrémités supérieures des tiges. Le fond du bouilleur forme un bassin recevant l'eau qui découle du dernier plateau. Une échancrure formant trop-plein amène l'eau par un tuyau latéral à la surface de l'eau de la chaudière.

Le fonctionnement de l'appareil se conçoit aisément. L'eau introduite dans le dôme est plus ou moins échauffée, soit par un réchauffeur alimentaire, soit par un injecteur; plus elle est chaude, et plus il y a de chance que la circulation dans l'appareil suffise à l'amener à l'ébullition. Elle est répandue en pluie fine sur le premier plateau, et, grâce aux dispositions indiquées, elle traverse la vapeur dont la caisse est remplie à l'état divisé et sur un parcours considérable. Elle dépose successivement les sels dont elle est chargée sur les plateaux et sur les parois intérieures du dôme qui se recouvrent d'une boue onctueuse. L'eau non vaporisée arrive enfin dans le réservoir inférieur où elle achève de se débarrasser de ses dépôts, puis elle est conduite dans le réservoir d'eau de la chaudière, à l'aide de dispositions telles que son écoulement ne favorise pas l'entraînement de l'eau dans les cylindres.

Le bouilleur est fermé à sa partie supérieure par un couvercle à bride. Le joint est serré par des boulons à charnière. La visite de l'appareil se fait à peu près tous les mois, plus ou moins d'ailleurs, suivant que les eaux sont plus ou moins chargées. On démonte les plateaux et on les nettoie, ainsi que l'intérieur de la caisse. Les dépôts se détachent avec la plus grande facilité.

Un grand nombre d'appareils ont été appliqués en Autriche à des chaudières fixes et locomotives. Les résultats ont toujours été complétement satisfaisants. Sur la première locomotive qui reçut cet appareil, on observa que non-seulement il ne se formait plus aucune incrustation, mais même que les dépôts qui s'étaient formés dans la chaudière pendant six mois de service disparaissaient rapidement d'eux-mêmes. Cette espèce d'effet rétroactif s'explique par cette considération que les croûtes salines se crevassent par les mouvements successifs de dilatation et de contraction des parois, et que, s'il ne survient pas de nouveaux dépôts pour boucher les fentes produites, l'eau s'y introduit, arrive à mouiller les tôles et, peu à peu, fendille et détache les incrustations qui, tombant en petits fragments au fond de la chaudière, sont enlevées dans les vidanges ordinaires faites en service.

Le succès complet du premier essai fait sur les lignes de la Société autrichienne, engagea les ingénieurs à appliquer l'appareil à douze locomotives. Les eaux d'alimentation sont en masse d'assez bonne qualité; leur teneur moyenne en sels solubles est,

par mètre cube, de 110 grammes, dont 30 gr. de carbonate et 80 de sulfate. Les résultats obtenus sont néanmoins très-saillants ; on a constaté en effet, par des essais prolongés, que l'on extrayait de l'appareil les 70 0/0 de la quantité totale des sels contenus dans l'eau consommée par la machine, de sorte que 30 0/0 seulement de ces sels se déposent dans les autres parties de la chaudière. Et encore ces 30 0/0 paraissent-ils ne pas échapper entièrement à l'action de l'appareil, car ils ont perdu en y passant la propriété de se déposer en croûtes adhérentes, et ils forment une poudre boueuse que les lavages ordinaires entraînent aisément.

M. Brull expose ensuite que M. Wagner, parti d'un point de vue différent de celui de M. Schau, après avoir conçu et établi l'appareil tel que M. Tronquoy l'a décrit, a été conduit à le transformer en un appareil à haute pression pour l'appliquer aux machines locomobiles et locomotives, et, en général, dans les cas où il ne pouvait disposer de la vapeur de l'échappement.

L'appareil à haute pression de M. Wagner, dont un dessin est mis sous les yeux de la Société, est presque semblable à celui de M. Schau. Les seules différences qui puissent être signalées reposent sur quelques détails de la construction. Les plateaux déversent l'un sur l'autre par débordement, tantôt par leur circonférence extérieure, tantôt par leur circonférence intérieure, tandis que dans l'appareil Schau, c'est par les trous percés en chicane que se fait le déversement. L'eau se rend du réservoir inférieur dans la chaudière par un tuyau central dans lequel des trous latéraux donnent en même temps passage à la vapeur, tandis que dans l'appareil Schau c'est par une gouttière latérale que se décharge l'appareil.

Comparant ensuite l'appareil à basse pression décrit par M. Tronquoy avec l'appareil à haute pression qui vient d'être expliqué, M. Brüll considérant d'abord le point de vue de l'économie, fait remarquer que dans le premier appareil on tire utilement parti d'une portion de la vapenr d'échappement qui est quelquefois perdue. Dans l'appareil à haute pression, au contraire, c'est avec de la vapeur utile qu'on échauffe l'eau alimentaire. Au point de vue de l'efficacité, le dernier appareil élevant bien davantage la température de l'eau doit réussir plus complétement à l'épurer. Enfin, au point de vue pratique, il est bon d'observer que l'appareil à basse pression est extrêmement volumineux et très-cher de construction, tandis que l'autre est d'une installation bien plus facile et coûte fort peu de chose, comme le montre d'ailleurs la seule comparaison des dessins. Il faut ajouter encore que l'appareil à haute pression fonctionne absolument seul sans surveillance, tandis que l'appareil à basse pression exige certaines manœuvres de robinets.

M. le Président cite un travail de M. Cousté, dans lequel il est dit que les carbonates contenus dans les eaux se déposent vers une température de 60°, les sulfates exigeant au contraire pour se déposer une température plus élevée et quelquefois voisine de 140°. A l'appui du travail ci-dessus indiqué, M. le Président donne les résultats suivants obtenus sur la chaudière du Conservatoire, qui, outre le corps principal, est formée de trois bouilleurs.

Après une marche de quelques mois, on a trouvé, lors du nettoyage, dans le bouilleur le moins chaud pendant la marche, c'est-à-dire celui placé à la partie inférieure du fourneau, des dépôts peu considérables contenant des carbonates et peu de sulfates. Dans le bouilleur intermédiaire on a trouvé que les dépôts étaient formés de 90 0/0 de carbonates. Enfin dans le bouilleur supérieur, le plus chaud, on n'a eu que des dépôts formés presque exclusivement de sulfates.

M. le Président croit donc que les appareils à basse pression conviennent mieux pour

les eaux contenant des carbonates et peu de sulfates ; car ces derniers exigent une température supérieure à 100° pour se déposer ; ce qui conduit à préférer les appareils à haute pression pour les eaux contenant une quantité notable de sulfates.

M. Durenne répond que dans l'appareil de M. Wagner, comme M. Tronquoy l'a indiqué dans sa communication, les carbonates se déposent sur les plateaux supérieurs, là où existe une faible température ; et qu'une grande quantité des sulfates contenus dans les eaux se déposent sur les plateaux inférieurs et sur le filtre, quoique la température y soit moindre que 100°. Ce fait, dont M. Durenne ne s'est pas encore rendu compte, provient probablement d'une action purement mécanique.

M. Brüll fait observer que l'efficacité plus ou moins complète de l'appareil purificateur à haute ou à basse pression dépend de la nature des eaux employées. Les sels très-solubles, comme les chlorures de sodium, de calcium, de magnésium qui se trouvent en abondance dans l'eau de mer et dans les eaux saumâtres, que bien des machines sont réduites à employer, ne se déposent, en quantité notable, que lorsque l'eau en est chargée à un point voisin de la saturation ; heureusement il n'en est pas de même des sulfates de chaux et de magnésie, auxquels tant d'eaux doivent leur dureté et leur propriété incrustante. Ces sels, bien moins solubles à toute température que les précédents, paraissent se déposer presque avec la même facilité que les carbonates calcaire et magnésien. C'est ce que montrent l'aspect et l'analyse des dépôts retirés de l'appareil Schau, et qui sont en grande partie formés de sulfate de chaux.

Il est bon de mentionner encore que, dans l'appareil à basse pression, on peut employer pour échauffer l'eau, en dehors de la vapeur d'échappement ou de la vapeur prise directement sur la chaudière, tout courant gazeux à haute température dont on peut disposer. L'appareil devient aussi un appareil de réchauffage, de même qu'il est déjà un appareil de purification et de condensation. Enfin, cet appareil peut servir d'une façon générale à diverses opérations de séchage, de concentration, d'extraction des corps dissous dans des liquides, de distillation. La disposition adoptée, qui met en contact, dans un espace relativement restreint, un liquide et un gaz sur un très-grand nombre de points et pendant un temps très-long, est évidemment très-féconde en applications.

M. Faure indique que M. Boutigny d'Évreux a pris un brevet en 1854 pour une chaudière, avec appareil désincrustant, analogue à ceux présentés à la séance. M. Faure n'a aucunement l'idée de faire une question de priorité de cette remarque, c'est simplement parce que M. Boutigny est membre de la Société qu'il a tenu à rappeler les travaux de cet ingénieur sur cette matière.

Un modèle de chaudière de ce système existe depuis l'année 1855 dans les collections du Conservatoire des arts et métiers.

M. le Président pense que l'économie de 30 pour 0/0 sur le combustible, qui a été indiquée par M. Tronquoy, n'a pu, si elle est réelle, provenir que d'une différence dans l'état des surfaces évaporatoires de la chaudière ; car le simple réchauffage de l'eau d'alimentation à 90° environ ne donnerait qu'une économie de 13 pour 0/0 seulement sur le combustible.

M. le Président remercie MM. Tronquoy et Brüll de leurs communications, qui, en se complétant mutuellement, forment un résumé fort intéressant sur ces moyens particuliers d'éviter par simple échauffement la formation des dépôts dans les chaudières à vapeur.

Séance du 21 Février 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. le Président informe la Société que M. Coignet se met à sa disposition pour lui soumettre, dans son usine de Saint-Denis, les divers travaux en béton aggloméré qu'il destine à l'Exposition de Londres. Cette visite doit avoir lieu le dimanche 23 courant, en partant de Paris par le train de deux heures et demie.

Il donne ensuite lecture d'une lettre de M. Loustau, à laquelle est joint un exemplaire d'un mémoire de M. E. Rendu, inspecteur général de l'instruction publique, sur un projet de collége international. Dans ce travail, dont la rédaction remonte à l'année 1855, M. Rendu a pris comme base l'intervention de l'État.

Le projet de M. Barbier, dont il a été question dans la dernière séance, diffère de celui de M. Rendu en ce qu'il s'adresse à l'initiative privée, et c'est pour atteindre ce but qu'il a fondé les prix du concours ouvert, à sa demande, par la Commission impériale de l'Exposition.

M. de Bruignac présente une analyse de son mémoire sur l'enquête relative à l'industrie métallurgique.

Ce travail, qui contient un grand nombre de chiffres, sera inséré dans l'un des prochains numéros des Mémoires de la Société.

M. Coignet a entendu, dans cette communication, qu'on pourrait arriver à un abaissement du prix de revient des fers, en rapprochant les usines des lieux de production de la houille. Il ne pense pas qu'il en serait ainsi, parce que les mines de houille appartiennent à de grandes Compagnies qui sont maîtresses du marché. Ainsi les houilles de la Loire sont vendues à peu près au même prix en Alsace qu'à Rive-de-Gier, Cette situation tiendrait à l'intervention considérable du capital, qui fait, suivant lui, porter à 12 et 15 fr. le prix de revient de combustibles dont l'extraction ne s'élève pas au delà de 2 fr. 90 c.

M. Coignet peut citer à l'appui de son opinion l'inutilité du rapprochement de sa propre industrie des centres houillers. Il ne croit pas la lutte possible à armes égales avec l'Angleterre, tant que le prix de la houille sera artificiellement augmenté par la cause qu'il a signalée.

M. Faure ne croit pas que le prix d'extraction dans le bassin de la Loire puisse être aussi bas que l'indique M. Coignet. Dans l'Aveyron, ce prix n'est pas inférieur à 4 fr. 50 c. ou 5 fr., dans des conditions exceptionnellement favorables.

Un membre cite, dans le même sens, l'exemple du bassin d'Aubin que la Compagnie d'Orléans exploite avec beaucoup d'économie ; le prix de revient y a atteint cependant de 6 à 7 fr. en 1860 et 1861.

M. Coignet répond que les seuls éléments qui n'entrent pas dans le prix qu'il a cité sont l'intérêt et l'amortissement du capital. Il en résulte que l'abaissement du prix de vente ne saurait être obtenu par des améliorations dans les méthodes d'exploitation.

M. Faure pense que l'écart entre les prix moyens des fers français et anglais,

d'après les indications résumées dans le mémoire de M. de Bruignac, est trop considérable et qu'il y aurait en outre à tenir compte de la qualité généralement supérieure des premiers.

M. Cazes fait remarquer l'exagération des chiffres relatifs à la consommation; ainsi la moyenne de 2 1/2 tonnes par tonne de fonte est presque le double de ce qu'on obtient dans beaucoup d'usines.

Un membre cite le déplacement de l'usine de Styring comme une preuve de l'intérêt qu'ont les industriels à rapprocher les forges des houillères, et l'on pourrait, à l'appui de cette opinion, montrer que tous les établissements métallurgiques qui possèdent à la fois du combustible et du minerai, établissent leurs fourneaux à proximité du combustible.

M. Coignet ne conteste pas l'utilité du rapprochement des lieux de production, dans le cas où la houille peut être exploitée par le propriétaire de l'usine; mais, dans le cas contraire, la meilleure situation est, à son avis, le point où la houille française vient rencontrer la concurrence de la houille étrangère.

M. de Bruignac fait remarquer qu'il a eu soin, dans son mémoire, de prendre les chiffres de l'enquête sans les contrôler, et bien qu'il regrettât la voie des moyennes générales, qui a servi de base à ce travail, il s'est volontairement borné à une discussion de chiffres produits.

M. le Président remercie M. de Bruignac au nom de la Société, et exprime le désir que des travaux de même nature et d'un aussi grand intérêt puissent être présentés pour d'autres industries.

M. Dufournel entretient la Société d'une amélioration récente qu'il a obtenue dans la mise en feu des hauts fourneaux.

Le procédé actuellement en usage pour mettre en feu les cubilots a le défaut d'être long et de n'échauffer qu'imparfaitement le fond de cet appareil. Cet échauffement se complète graduellement aux dépens de la chaleur des premières quantités de fonte qui arrivent dans le bain.

Un contre-maître de fonderie, nommé Pierre Fyot, a eu l'heureuse idée de modifier, ainsi qu'il suit, l'opération de cette mise en feu :

Il commence par jeter au fond d'un cubilot 80 litres environ de charbon de bois; il y verse ensuite du coke jusqu'à 1 mètre au-dessus de la tuyère, puis il achève de remplir avec des charges ordinaires de coke et de fonte. Par une tuyère ménagée au niveau du fond, il lance sur le charbon de bois un courant d'air forcé. Quand il voit apparaître les premières gouttes du métal fondu, il bouche cette tuyère avec un tampon de terre et remonte la buse pour souffler par la tuyère ordinaire. Il prétend que de cette manière le fond de son cubilot est toujours parfaitement échauffé avant que la fonte n'y arrive, et qu'il fait sur le procédé habituel une grande économie de temps et de combustible.

M. Dufournel tient cette innovation de l'inventeur lui-même, et le souvenir de quelques passages de la *Métallurgie* de Karsten l'a mis sur la voie d'une modification à introduire dans la mise en feu des hauts fourneaux.

Il avait vu dans Karsten que quand on met en feu les stuck-offen, on commence par donner le vent au niveau du fond, et que l'on reporte les buses à une tuyère plus élevée, lorsque le métal en fusion et les laitiers viennent obstruer la tuyère inférieure. Il avait lu dans le même auteur que dans certaines contrées de l'Allemagne, quand on met en feu un haut fourneau et que l'opération ne marche pas comme il convient, on

donne de l'air dans l'ouvrage, au moyen d'un tube de fer introduit par l'ouverture de la coulée.

Pourquoi n'employer l'air forcé que lorsque la mise en feu languit et ne pas l'employer dès le commencement? Pourquoi se servir d'un tube introduit par l'ouverture de la coulée et ne point souffler par des tuyères disposées comme les tuyères ordinaires et seulement placées plus bas et tout près du fond?

Ces questions devaient naturellement se présenter à l'esprit.

Si l'air forcé, en effet, vient efficacement en aide à une mise en feu qui ne marche pas bien, n'est-il pas très-certain qu'il agira non moins efficacement lorsqu'on l'emploiera d'un bout à l'autre de l'opération?

En ce qui concerne l'emploi du tube de fer par l'ouverture de la coulée, ne voit-on pas que si ce tube pénètre jusqu'au centre de l'ouvrage, l'air s'élèvera naturellement dans la cuve et reviendra difficilement sur lui-même pour échauffer l'avant-creuset et la dame; que si, au contraire, le tube ne dépasse pas l'avant-creuset, l'air pénétrera difficilement jusqu'à la partie postérieure de l'ouvrage? Enfin, si le tube est enfoncé d'abord jusqu'au centre de l'ouvrage, puis retiré ensuite pour agir sur l'avant-creuset, n'est-ce pas faire l'opération en deux fois et laisser à la rustine le temps de se refroidir pendant qu'on échauffera l'avant-creuset lui-même?

Ce sont ces considérations qui l'ont porté à penser qu'il fallait donner l'air forcé, dès le commencement, par des tuyères provisoires pratiquées au fond de l'ouvrage, c'est-à-dire qu'il fallait mettre en feu les hauts fourneaux, absolument de la même manière que les stuck-offen.

En conséquence, il a fait percer dans les pierres d'ouvrage d'un haut fourneau en remontage, exactement au-dessus des tuyères ordinaires, des trous coniques de 8 centimètres de diamètre au gros bout et de 5 centimètres au petit bout, cette dernière ouverture débouchant à l'intérieur de l'ouvrage, à deux pouces au-dessus du fond. Ces trous étaient destinés à recevoir les buses.

Dans les mises en feu par les procédés ordinaires, on emploie un temps assez long et des manœuvres pénibles pour échauffer le fond, et cependant jamais celui-ci n'est suffisamment chaud quand la fonte commence à y arriver. Il n'est guère porté au delà du rouge cerise, et ce n'est que plus tard et à la longue qu'il s'échauffe complétement aux dépens de la chaleur des premiers bains de fonte, et grâce aussi à la précaution que l'on a de marcher en défaut de mine pendant longtemps.

En employant les tuyères de fond, M. Dufournel a fait remplir le fourneau comme à l'ordinaire, avec cette différence qu'au lieu de ne mettre d'abord que du charbon, il a terminé ce premier remplissage avec cinq charges de 666 litres de charbon et de 100 litres de minerai chacune. Le charbon a été allumé comme à l'ordinaire par l'ouverture de la coulée; toutes les ouvertures ont été bouchées d'abord, comme à l'ordinaire aussi, pour que l'embrasement se répandît petit à petit dans toute la cuve et pour que le fourneau se desséchât lentement. Quand on a jugé qu'il était suffisamment sec, on a débouché l'avant-creuset et le trou de la coulée, et l'on a mis le vent aux tuyères du fond. Douze heures après, les ouvriers, jugeant à l'aspect des tuyères et de l'avant-creuset que l'ouvrage était suffisamment chaud, ont voulu faire une grille pour mettre les fraizils. Cette précaution était inutile : il n'y avait point à risquer que la fonte s'attachât; l'ouvrage était aussi chaud qu'au milieu d'un fondage, il était au blanc soudant le plus vif. Aussitôt donc, les tuyères de fond ont été bouchées avec un tampon de terre, et le vent reporté aux tuyères ordinaires. A partir de ce moment, le fourneau a été conduit comme d'habitude; mais dès la trente et unième coulée, il était à portée de

mine (240 litres pour 666 litres de charbon), tandis que dans tous les fondages précédents, le même fourneau n'était jamais arrivé à la même portée avant la centième coulée. M. Dufournel dit que dans les premiers remplissages il entrait cinq charges de minerai, mais il est convaincu que ce nombre peut être augmenté. C'est par le tâtonnement que l'on pourra déterminer la limite de cette augmentation.

Les avantages de ce procédé se composent : 1° de l'économie du charbon de remplissage ; 2° de l'économie qui résulte de tout le temps gagné pour arriver à portée de mine.

M. Dufournel fait connaître une autre modification qu'il a apportée dans la construction des parois de creuset des hauts fourneaux. Ayant observé que les grès de gros appareils qu'on y emploie ordinairement sont quelquefois détruits avec une grande rapidité, il fut amené à penser que la cause devait en être attribuée à l'inégalité de composition des laitiers, qui son tantôt acides et tantôt basiques, et qu'il conviendrait d'employer dans cette construction des matériaux de faible échantillon de deux espèces différentes. Si quelque partie se dégrade par suite de la composition des laitiers, elle se tamponne lorsque la nature de ceux-ci devient différente, et l'ouvrage reste pendant plus longtemps en bon état. L'expérience a confirmé les prévisions de M. Dufournel, et il a obtenu de très-bons résultats en se servant de moellons de grès et de briques de Givors.

M. Faure demande si les tuyères de fond pourraient donner avec un fourneau au coke un résultat semblable à celui indiqué pour un fourneau au bois.

M. Dufournel répond que dans les fourneaux au coke, l'échauffement du creuset n'a lieu qu'au moyen des gaz déjà refroidis provenant des fours qu'on établit en dehors du creuset ; c'est pour cela que Karsten avait imaginé les tubes en fer indiqués précédemment.

M. Tresca remercie M. Dufournel, au nom de la Société, de son intéressante communication, et l'engage à en faire l'objet d'une note détaillée, qui reproduise les figures tracées sur le tableau.

M. Dru donne lecture de la première partie de son Mémoire sur le débit des puits artésiens.

La comparaison que l'on a faite quelquefois des puits artésiens à des siphons renversés n'est généralement pas exacte, car les nappes qui existent dans le sol s'y trouvent rarement à l'état statique ; elles y sont presque toujours à l'état dynamique, et il suffit pour s'en convaincre d'examiner la manière dont les puits artésiens arrivent au régime. Cet état ne se produit pas, en effet, d'une manière brusque et promptement, comme cela devrait se passer si le conduit souterrain était fermé en aval ; mais au contraire d'une manière lente, par petites secousses successives, trahissant ainsi les oscillations qui se produisent à la base et qui sont le résultat d'un changement de régime.

En outre, s'il s'agissait d'un siphon, l'eau se mettrait en équilibre dans les deux branches ; il n'en est pas ainsi dans les puits artésiens où l'eau reste toujours à un niveau inférieur à celui du bassin d'alimentation. Or, cette perte de charge ne peut venir que d'un frottement dans la conduite souterraine, frottement qui n'est possible qu'autant que l'eau est à l'état dynamique.

L'eau dans le sol circule, soit dans des fissures, soit dans des masses perméables, ce qui est le cas le plus général, le seul que M. Dru se propose d'examiner, renvoyant pour le cas plus particulier des canaux à la lecture de la note.

Dans les terrains perméables, l'eau circule avec une vitesse très-peu sensible, c'est

ce que M. Dupuit avait admis *à priori*, et qui l'avait conduit à supprimer le terme βu^2 dans la formule de Daubuisson.

$$i = \frac{\chi}{\Omega}(\alpha u + \beta u^2)$$

et en faisant

$$\frac{\chi}{\Omega}\alpha = \mu$$

il a posé

$$i = \mu u$$

comme équation caractérisant le mouvement uniforme ou varié dans le terrain.

M. Darcy a fait sur les filtres des expériences d'où il a conclu la loi représentée par la formule suivante :

$$Q = K\frac{H+e}{e}S. \qquad (1)$$

Q débit par u nité de surface,
H charge sur le filtre,
e épaisseur du filtre,
K coefficient d'expérience,
S surface.

Cette formule, du reste, revient à celle de M. Dupuit, comme on peut le voir.

Soit : s la section libre du filtre,
u la vitesse.

On a :

$$s = mS,$$

d'où

$$\frac{Q}{S} = \frac{Q}{mS} = u$$

ou

$$\frac{Q}{S} = mu.$$

De l'équation (1) on tire :

$$\frac{Q}{S} = K\frac{H+e}{e},$$

d'où

$$mu = K\frac{H+e}{e}.$$

Observant que $\frac{H+e}{e}$ est précisément la charge par unité de longueur ou i, on a :

$$mu = Ki$$

ou

$$\frac{m}{K}u = i, \qquad (2)$$

formule analogue à

$$i = \mu u.$$

Dans ses expériences sur les conduites, M. Darcy a reconnu que pour les vitesses

inférieures à $0^m,10$ par $1''$, le frottement est proportionnel à la première puissance de la vitesse seulement, c'est-à-dire que la formule de Daubuisson se réduit à

$$i = \frac{\chi}{\Omega} \alpha u$$

ou à

$$i = \mu u \text{ d'après M. Dupuit.}$$

En rapprochant ces résultats, on peut donc conclure que la vitesse dans les filtres et par suite dans les masses perméables, qui ne sont que de vastes filtres, n'atteint jamais 0,10 par $1''$.

En examinant les expériences de M. Darcy, on peut même avoir une appréciation plus exacte encore de la vitesse.

En effet, pour des filtres fort grossiers dans lesquels

m était égal à 0, 38
il a trouvé pour $K = 0,003$

Si on substitue dans (2), on a

$$i = \frac{0,38}{0,003} u.$$

Si on suppose, ce qui est le cas pour les filtres naturels, que

$$H = 0,$$

d'où

$$\frac{H + e}{e} \text{ se réduit à } 1.$$

On aura

$$1 = \frac{0,38}{0,003} u,$$

d'où

$$u = \frac{0,003}{0,38} = 0,0007.$$

Ainsi, dans un filtre, u n'atteint pas 1 millim., et l'on conçoit que dans les filtres naturels, dans les terrains perméables, cette vitesse soit encore plus faible ; car i sera toujours inférieur à l'unité.

Les valeurs de m et K ou de μ sont extrêmement variables avec les différents terrains, car les formations sableuses sont loin d'être identiques, et offrent des perméabilités fort différentes.

Il faudrait des expériences directes pour déterminer les valeurs de K pour les différents terrains. M. Dru a montré comment on pourrait tirer parti des tables de M. Delesse pour en conclure les valeurs de m, et par là se faire une idée de la perméabilité des différents terrains.

En outre de la variation que présentent les masses perméables en raison de leur plus ou moins grande perméabilité, elles offrent aussi des divisions fort tranchées par les séparations qu'y déterminent les couches d'argile, variables d'étendue et de direction, et qui constituent dans les formations un vaste réseau de conduites s'alimentant à des niveaux supérieurs, et se déversant à des niveaux inférieurs. Un tube artésien n'est autre qu'un piézomètre implanté sur l'une de ces conduites, et qui donne exactement la mesure de la pression sur la conduite en ce point.

Le point limite d'ascension de l'eau est ce qu'on appelle le niveau hydrostatique de la nappe.

Si l'on coupe le tube piézométrique à une certaine hauteur au-dessus de la ligne de terre, il y aura déversement.

Appelons H la hauteur du niveau hydrostatique,
h la hauteur du plan de déversement.

Le fait de l'écoulement amènera un accoissement de débit dans le canal souterrain, partant frottement et perte de charge. Or, d'après les considérations sur la vitesse dans le filtre, on est autorisé à exprimer ce frottement par un terme proportionnel au débit,

Soit MQ.

Dès lors la charge $H - h$ se divisera en trois parties :

l'une, absorbée par le frottement dans le terrain, MQ,

l'autre, absorbée par le frottement dans le tube, que nous pourrons exprimer par

$$3{,}244 \frac{b^1}{D^5} (L + h) Q^2$$

en prenant la formule à un terme de M. Darcy, au lieu de la formule à deux termes de Daubuisson.

Enfin la troisième partie, qui sera la hauteur génératrice de la vitesse de sortie ou

$$\frac{u^2}{2g} \text{ ou } 0{,}084 \frac{Q^2}{D^4}$$

On pourra donc poser :

$$H - h = MQ + 3{,}244 \frac{b^1}{D^5} Q^2 (L + h) + 0{,}084 \frac{Q^2}{D^4}$$

Il s'agira dès lors de déterminer H et M pour un même puits au moyen de deux jaugeages. On aura aussi pour un volome Q' à une hauteur h' :

$$H - h' = MQ' + 3{,}244 \frac{b^1}{D^5} Q'^2 (L + h') + 0{,}084 \frac{Q'^2}{D^4} \tag{3}$$

d'où

$$M = \frac{\left(h + 3{,}244 \frac{b_1}{D^5} Q^2 (L+h) + 0{,}084 \frac{Q^2}{D^4}\right) - \left(h' + 3{,}244 \frac{b_1}{D^5} Q'^2 (L+h') + 0{,}0{,}84 \frac{Q'^2}{D^4}\right)}{Q' - Q}$$

Or, si l'on remarque que les deux termes du numérateur sont précisément les hauteurs piézométriques correspondant aux volumes Q et Q' ramenées à un même plan de comparaison, et si on appelle Z et Z' ces deux hauteurs, on écrira :

$$M = \frac{Z - Z'}{Q' - Q} \tag{4}$$

c'est-à-dire que la différence des hauteurs piézométriques correspondant à deux volumes données, divisée par la différence des volumes, doit toujours donner une constante.

On peut voir que l'équation (3) revient à

$$Y = A - BX - CX^2 - DX^2Y$$

qui est une équation du 3e degré, non parabolique.

M. Dupuit avait donné pour équation du mouvement de l'eau dans les puits artésiens l'équation du second degré de la parabole à axe vertical

$$Y = H - aQ - bQ^2$$

dans laquelle

Y hauteur du plan de déversement,
H hauteur du niveau hydrostatique,
Q débit.

a et b coefficients constants à déterminer par deux jaugeages. Mais on peut voir que cette équation n'est pas exacte, car le terme bQ^2 qui représente, d'après M. Dupuit, le frottement dans le terrain, contient implicitement la variable du premier membre Y, et devrait s'écrire :

$$b\,(1 + cY)\,Q^2.$$

Ce qui ferait réellement de l'équation une équation du 3e degré, non parabolique, analogue à l'équation (3).

Si dans (4) on fait :

$$Z = H, \text{ d'où } Q = O,$$

on a

$$M = \frac{H - Z'}{Q'}$$

d'où

$$Z' = H - MQ'$$

équation qui n'est autre que

$$Y = A - BX.$$

C'est l'équation de la ligne droite.

Ainsi, en portant en abscisses les débits, et en ordonnées les hauteurs piézométriques, et joignant les sommets, on doit obtenir une ligne droite.

M. Darcy avait entrevu cette loi, mais il croyait à une relation parabolique, en regardant la branche de parabole comme sensiblement droite à une certaine distance du sommet : M. Dru n'a pas eu le temps de montrer d'où venait l'erreur de M. Darcy, mais il se propose de le faire voir dans la séance prochaine.

Dans l'équation fondamentale, D′ étant en dénominateur, s'il augmente, le second membre diminue, il faut donc que Q augmente.

Ainsi, la conséquence d'un accroissement de diamètre sera d'amener un accroissement de débit, mais on voit que l'accroissement de Q sera d'autant moindre que M et $(H + h)$ seront plus grands ; or, comme généralement ces quantités ont une certaine importance, il en résulte que l'accroissement du diamètre n'aura jamais qu'une importance restreinte.

Enfin on voit que dans l'équation, si H varie, elle entraînera une variation de même signe dans la valeur de Q.

Or, H peut varier :

1° par le changement de niveau des bassins d'alimentation et de déversement ;
2° par la non-étanchéité du tube ;
3° par le forage des puits voisins.

La variation dans les niveaux des bassins d'alimentation et de déversement provient des sécheresses ou des pluies prolongées et se fera d'autant moins sentir que M et $(H+h)$ seront plus considérables. C'est ce qui explique pourquoi le puits de Grenelle n'a pas

été influencé pendant les sécheresses de 1858 et 1859, tandis que les puits de Saint-Denis l'ont été, et ceux de Gonesse plus encore; car le terme M, contenant implicitement comme facteur la longueur du conduit souterrain, est beaucoup plus grand pour le puits de Grenelle que pour les autres.

C'est par suite de la variation du niveau de déversement que les puits situés dans le voisinage de la mer éprouvent des changements fréquents lorsque leurs eaux sont en communication avec celles de la mer elle-même.

C'est ce que M. Arago a constaté pour les puits de Lille.

(*La suite de la communication de M. Dru est remise à la prochaine séance.*)

Séance du 7 Mars 1862.

Présidence de M. TRESCA.

M. LE PRÉSIDENT invite M. Dru à présenter à la Société la suite de son travail sur les puits artésiens.

M. DRU indique que l'heure avancée de la séance dernière ne lui a pas permis de compléter ce qu'il avait à dire sur l'équation

$$M = \frac{Z - Z'}{Q' - Q}$$

Équation qui exprime que, si l'on porte en abscisses les débits et en ordonnées les hauteurs piézométriques correspondantes, les sommets sont sur une ligne droite.

Si l'on appelle α l'angle formé par cette ligne avec l'axe vertical, on aura :

$$\text{tang. } \alpha = \frac{Q' - Q}{Z - Z'} = \frac{1}{M}$$

et pour un même puits, puisque M est une constante :

$$\text{tang. } \alpha = \frac{1}{M} = \text{constante.}$$

M. Darcy avait admis qu'en pratique la ligne qui joint les sommets des lignes proportionnelles aux hauteurs piézométriques peut être considérée comme une ligne droite, mais qu'en réalité c'est une branche de parabole qui n'est droite que parce qu'elle est prise à une grande distance du sommet.

L'erreur de M. Darcy vient de ce que, pour valeur de la hauteur piézométrique correspondant à un volume donné, il avait pris seulement le terme représentant le frottement dans le tube :

$$(1) \qquad C = 3.241 \frac{b_1}{D^5} l Q^2 \qquad (l \text{ longueur du tube}),$$

et qu'il avait considéré l comme constante, tandis que c'est une quantité composée de L constante et h variable; de sorte que

$$l = L + h,$$

ce qui déjà ôte à l'équation (1) sa forme parabolique.

Il a oublié d'introduire dans cette valeur de C le terme correspondant à la vitesse de sortie

$$0{,}084\,\frac{Q^2}{D^4},$$

et enfin, pour pouvoir comparer entre elles les diverses hauteurs et les rapporter à un même plan de comparaison, il faut ajouter à cette valeur la hauteur du plan de déversement au-dessus du sol, qui est h;

d'où
$$C = h + 3.244\,\frac{b_1}{D^5}\,(L + h)\,Q^2 + 0{,}084\,\frac{Q^2}{D^4}.$$

L'équation de M. Darcy, ainsi complétée et modifiée, revient à celle que nous avons déduite de la formule générale.

M. Darcy a commis la même erreur que M. Dupuit a répétée depuis dans son Mémoire déjà cité, en posant pour équation du mouvement de l'eau dans les puits artésiens :

$$Y = H - aQ - bQ^2.$$

Ceci établi, M. Dru passe à l'examen du puits de Grenelle.

En 1844, M. Lefort a opéré une série de jaugeages, auxquels M. Dru a appliqué la formule générale, et il a d'abord vérifié si la condition de

$$\text{tang. } \alpha = \text{constante}$$

se trouvait remplie.

Or, en comparant entre eux les dix jaugeages de M. Lefort, il a obtenu 9 valeurs de

$$\frac{Q' - Q}{Z - Z'} = \text{tang. } \alpha,$$

dont

Six sont égales		à	0.00022
Une	—	à	0.00023
Une	—	à	0.00021
Une	—	à	0.00020.

En tenant compte des erreurs de jaugeage presque impossibles à prévenir dans des cas pareils, on voit que la loi se vérifie d'une manière remarquable; que conséquemment on a ici la preuve que le puits de Grenelle est bien tubé, et d'autre part que la formule doit être exacte : la théorie et l'expérience se contrôlent réciproquement.

En calculant d'après les valeurs de tang. α la valeur H, on trouve :

	H = 90^{m}43
le sol étant à	37 90 au-dessus de la mer,
l'ascension est donc de	128^{m}33 au-dessus du niveau de la mer.

Le puits de Grenelle a constamment donné le même débit depuis la réparation qui y a été faite en 1854, époque à laquelle, le tube de la partie inférieure ayant été

courbé par la pression des argiles, on redescendit dans toute la hauteur une colonne en tôle de $0^m.095$ dans œuvre.

Mais le 26 septembre, 30 heures après que le puits de Passy eut commencé à jaillir, le puits de Grenelle éprouva une diminution sensible, et de 630 litres par minute, son débit s'abaissa à 460 et même 420 litres. Il a repris un peu depuis que l'on a relevé le plan de déversement du puits de Passy, et est revenu à 460 litres.

A ce point, son niveau hydrostatique ne correspond plus qu'à la cote 108 environ; c'est-à-dire que ce puits, par le fait du forage de Passy, aurait éprouvé un abaissement de charge de 20 mètres environ.

On verra plus loin quelle en est la cause.

L'eau du puits de Grenelle est d'une pureté remarquable : elle ne renferme que 14 centigrammes de sels solubles par litre; son degré hydrotimétrique est 8°.

Les analyses faites à diverses époques par MM. Payen, Boutron et Péligot n'ont pas constaté de variation sensible dans la proportion d'oxyde de fer, ce qui indique que les tubes en tôle qui garnissent le forage dans toute la hauteur n'y subissent pour ainsi dire aucune altération, et cela se conçoit en examinant les analyses de M. Péligot, qui a constaté que l'eau ne renferme pas du tout d'oxygène, mais seulement de l'azote et de l'acide carbonique.

Aussi n'y a-t-il pas à concevoir de craintes, comme on l'a fait pour les tubages en tôle à Paris.

M. Dru dit qu'il ne fera pas de nouveau l'historique du puits de Passy, et il arrive immédiatement au fait de l'écoulement des eaux.

Au mois de mai 1861, une première nappe fut rencontrée, mais ne donna pas d'eau jaillissante; on a prétendu que cela tenait au grand diamètre du tube. Il ne croit pas que cela soit exact, car la hauteur hydrostatique d'un puits est indépendante de son diamètre, c'est un phénomène de statique purement et simplement.

Si cette première nappe n'a pu monter jusqu'au sol, cela tenait uniquement aux pertes par les joints du tube en bois, qui laissaient s'épancher au dehors l'eau de cette nappe, qui d'ailleurs devait être fort peu abondante.

La deuxième nappe, trouvée en septembre 1861, a donné en commençant 5,800, puis 10,000, puis enfin 25,000 mètres cubes par 24 heures à $1^m.50$ au-dessous du sol, et 20,000 mètres cubes au niveau du sol. Le débit s'est maintenu à ce chiffre pendant quelques jours, puis est descendu à 16,700. Il est probable que les sables entraînés au moment du jaillissement auront momentanément obstrué les vides laissés à l'intervalle des tronçons du tube en bois, et que de cette façon le volume normal aura pu s'écouler au sol, puis que ces sables auront peu à peu été entraînés par le courant ascendant, et que les fuites, venant alors à se manifester, auront permis au liquide de s'épancher au dehors.

Si l'on applique au puits de Passy les calculs de la formule générale, et qu'on cherche la valeur de tang. α pour les divers jaugeages qui ont été faits, on voit que cette valeur varie de

$$0.0032 \text{ à } 0.0053,$$

qu'ainsi la loi de

$$\text{tang. } \alpha = \text{constante}$$

ne se trouve pas vérifiée ici comme elle l'a été pour le puits de Grenelle : cela tient aux fuites par le tube.

En effet, ces fuites, outre qu'elles ont pour effet de permettre l'épanchement au

dehors d'une certaine quantité d'eau, quantité ou perte d'autant plus considérable que le plan de déversement est plus élevé, ont eu pour résultat, qui n'a pas été assez apprécié, de mettre la nappe des grès verts en communication avec celle des sables de l'argile plastique; or la première est douée d'une ascension de 128 mètres environ au-dessus de la mer, ainsi qu'on a pu le voir précédemment, et la seconde d'une ascension de 25 mètres seulement.

Or il est évident que ces deux colonnes ont dû chercher immédiatement à se mettre en équilibre.

Si l'on cherche par la formule générale à quelle cote répond le débit actuel du puits de Passy, on trouve la cote 93 mètres au-dessus de la mer.

D'autre part, on constate que les puits ordinaires, voisins du forage de Passy, dont le niveau normal est à 25 mètres en dessous du sol, ont actuellement ce même niveau à 18m.50 environ, c'est-à-dire relevé de 6m.50.

D'où la conséquence que la nappe des grès verts s'est abaissée de la cote 128 à la cote 93, et celle des sables de l'argile plastique s'est élevée de la cote 25 à la cote 31.50.

Cet abaissement de niveau hydrostatique du puits de Passy est la cause de l'énorme diminution qu'il a subie. Ce puits donne actuellement 5,900 mètres cubes à 24 mètres au-dessus du sol, il est probable qu'il en donnerait de 10 à 11,000 s'il était bien tubé.

Il y a donc une perte d'environ 5,000 mètres cubes, et c'est cette perte de charge qui amène cette diminution dans le débit.

On a dit que la première nappe est celle de Grenelle. M. Dru ne le croit pas, car il serait inadmissible que cette nappe eût pu couler pendant 4 mois à l'état latent, c'est vrai, mais qui n'en est pas moins réel, par les joints du tube en bois, sans avoir exercé aucune action sur celle de Grenelle; alors l'action de la seconde nappe a été excessivement prompte.

L'heure avancée fait remettre la discussion à la prochaine séance.

M. Bianchi a été reçu membre de la Société.

Séance du 21 Mars 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. Doyère offre à la Société un exemplaire de son ouvrage sur la *Conservation des grains par l'ensilage*.

M. Doyère, avant d'indiquer les principaux résultats consignés dans son livre, rappelle sommairement les deux principes actuellement en présence pour la conservation des grains.

Le premier, aujourd'hui de beaucoup le plus répandu, et celui vers lequel la faveur

publique s'est portée jusqu'ici de préférence dans notre pays, consiste à garder les grains sur des planchers ou dans des capacités où ils sont soumis à des mouvements et à des aérages plus ou moins répétés, soit par le pelletage à la main, soit par des moyens mécaniques. Les greniers ordinaires, les greniers de Duhamel, de John Simlour, de Philippe de Girard, de MM. Vallery de Conninck, Huart, Sallaville, Pavy, etc., appartiennent à cette première catégorie.

Suivant le second principe, tout au contraire, les grains sont conservés dans des cavités fermées, sous terre ou au-dessus du sol, sans mouvement ni aérage. C'est la *conservation en silo*. Il semble évident *à priori* qu'elle doit avoir la supériorité sur le premier mode, si les blés sont dans un état de siccité convenable, et si les silos sont souterrains, étanchés et absolument fermés; car la denrée ne doit plus rencontrer dans de telles conditions aucune des causes qui déterminent sa fermentation et ses altérations lorsqu'elle est exposée à un contact de l'air incessamment renouvelé, et aux variations de la température et de l'humidité atmosphériques.

M. Doyère fut conduit en 1850 à l'étude de l'emmagasinement des grains par la recherche qui lui fut confiée, lorsqu'il était professeur à l'Institut agronomique, de moyens pour détruire les insectes qui dévorent les céréales. Dès l'abord il fut frappé de voir que les essais précédemment faits pour introduire la pratique de l'ensilage en France avaient été conduits contrairement à ce qu'indiquaient non-seulement les données les plus positives de la science, mais même les faits les plus vulgaires de la pratique. On avait mis des masses de grains dans des fosses où l'air et l'humidité pénétraient sans autre obstacle qu'un sol poreux; avait-on le droit de s'étonner en les y trouvant fermentées et gâtées après un an, dix-huit mois ou deux ans de séjour? M. Doyère n'hésita pas à annoncer que tout autres devaient être les errements suivis partout où l'ensilage a été pratiqué et partout où il se pratique encore avec quelque succès. Les expérimentateurs précédents, dont il rappelle le zèle et la libéralité, avaient été égarés, suivant lui, par les prétendus faits consignés dans les livres et dans les relations de voyageurs, sans avoir jamais été étudiés avec le soin qu'ils méritaient.

Ces conjectures se vérifièrent complétement dans un voyage que M. Doyère fut mis à même de faire pour l'étude de l'ensilage, après avoir publié son *Mémoire sur l'alucite des céréales*, en 1852. Par les faits qu'il a observés, tant en Espagne qu'en Algérie, M. Doyère montre à la Société :

1° Que l'ensilage n'a plus aujourd'hui que des applications restreintes et très-imparfaites, que les silos, qui ne sont que de simples trous en terre comme ceux qu'on voulut imiter en France, ne doivent leur faculté conservatrice qu'à des choix de terrain, qu'à des soins et à des pratiques dont on n'avait tenu aucun compte, qu'enfin, même dans ces conditions, et employés à contenir des blés de moitié plus secs que les blés de France, les résultats qu'ils donnent ne seraient d'aucun avantage pour un pays comme le nôtre;

2° Que l'ensilage fut au contraire pratiqué avec une grande supériorité par les Romains, et mieux encore peut-être par les Maures d'Espagne. Les approvisionnements des grandes villes se faisaient chez ces derniers dans de vastes excavations taillées dans le sein de roches dures, imperméables et sans fissures. M. Doyère est descendu dans plusieurs de ces silos, dont la capacité, aujourd'hui en partie comblée, dut s'élever jusqu'à 3,000 et 3,500 hectolitres. Les grains durent y trouver réunies les trois conditions précédemment indiquées, de l'invariabilité de la température par la subterranéité, de l'imperméabilité des parois, et de l'herméticité de la fermeture.

Mais de semblables excavations n'ont pu se faire que dans des roches spéciales, et cet ensilage si parfait dut nécessairement être restreint à quelques localités exceptionnellement favorisées sous ce rapport. Comment réaliser les trois conditions précitées de manière à débarrasser l'ensilage de toute condition de localité, et à en faire une pratique susceptible de devenir véritablement universelle?

M. Doyère déduit les raisons tirées des faits qui l'ont conduit à reconnaître que les maçonneries sont impropres à fournir des enveloppes pour contenir immédiatement les grains. Les métaux en général, et la tôle en particulier, lui ont seuls permis d'obtenir des parois imperméables. Il fait remarquer que, pour contenir des grains aussi humides que les nôtres, l'imperméabilité des parois doit être absolue dans toute la rigueur du terme. D'un autre côté, la tôle, et surtout la tôle galvanisée, revêtues à leur face externe d'une couche de mastic bitumineux de 3 à 4 millimètres d'épaisseur, offrent toutes les garanties de longue durée que l'on peut exiger. On peut employer des tôles très-minces. Les deux grands silos construits à Alger sont imperméabilisés par un revêtement intérieur en zinc, de trois quarts de millimètre d'épaisseur.

M. Doyère rend ensuite compte très-sommairement des sept grandes séries d'expériences qui ont été faites de 1854 à 1861, à Paris, à Alger, à Cherbourg, à Brest et à Toulon, par la Société particulière qui s'est formée pour cet objet, agissant isolément ou avec le concours des deux départements de la guerre et de la marine. Toutes ont été couronnées de succès, et le livre dont M. Doyère fait hommage à la Société a principalement pour objet de rendre publics les rapports et les procès-verbaux qui en ont été faits par les cinq commissions nommées pour cet objet. Cette publication a été autorisée par M. le ministre de la guerre et par M. le ministre de la marine, en considération du haut intérêt public qui s'attache à la solution du problème étudié par M. Doyère, et de la solution qu'il en a donnée.

La conclusion formulée dans tous ces documents est que le blé conservé par le procédé de M. Doyère se retrouve intégralement poids pour poids, qualité pour qualité; que la conservation a lieu, par conséquent, sans déchet, sans dépréciation et sans frais. Ajoutons que les silos ne coûtent à construire, toutes choses égales d'ailleurs, et pour une même contenance en grains, qu'environ la moitié ou les trois cinquièmes de ce que coûtent les greniers ordinaires.

M. le Président remercie M. Doyère de l'hommage de son ouvrage, ainsi que des intéressantes explications qu'il vient de présenter à la Société.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Gallaud sur une application de l'électricité aux compteurs employés dans l'industrie.

M. Gallaud expose que les compteurs, dont il s'agit, peuvent servir à indiquer, soit le nombre des voyageurs dans les omnibus, soit le nombre des visiteurs aux entrées des monuments publics tels que les expositions, soit surtout le nombre et la nature des votes dans les grandes assemblées.

Ils peuvent encore servir de moyen de contrôle et constater à l'insu des ouvriers le nombre d'opérations semblables faites dans une nuit et éviter ainsi des frais de surveillance.

Cet appareil se compose essentiellement de 3 parties, le *moteur*, le *transmetteur* et l'*indicateur*.

Le moteur est un courant électrique : un fil conducteur part du pôle positif d'une pile, à 8, 10 ou 12 éléments de Daniell, s'enroule sur les deux bobines d'un électro-aimant et aboutit au pôle de la même pile.

Entre ce pôle et les deux bobines on place un *bouton interrupteur* destiné à interrompre ou à rétablir le courant.

Le bouton est formé de deux parties métalliques naturellement éloignées l'une de l'autre et que l'on rapproche par la pression. Les bobines évidées de l'électro-aimant sont, comme toujours, traversées par un fer doux ayant la forme d'un fer à cheval ; ce fer doux, s'aimantant au passage du courant, attire une palette également en fer doux.

Cette palette est fixée à l'extrémité d'un premier levier placé à peu près horizontalement.

Ce premier levier, que nous nommerons A, est assemblé à articulation très-sensible avec un deuxième levier placé presque verticalement.

Ce deuxième levier B est à gorge et armé de deux dents. Une roue C, qui doit être continuellement tangente au fond de la gorge du levier B, est divisée en un certain nombre de parties égales, 100 par exemple. A chaque division, le disque est traversé par des petites tiges en fer qui dépassent de $0^{m},001$ ou 0,002 chaque face. Il y a toujours une de ces tiges qui repose sur les dents du levier B.

Les leviers A et B et la roue C constituent la partie de l'appareil appelée le *transmetteur*.

Lors donc que l'on pressera le bouton interrupteur, le levier A oscillera, et le levier B s'élèvera en traînant une des dents de la roue C, qui avancera d'une division.

Le bouton n'étant plus pressé, le courant ne passe plus, et le poids du levier B et d'une partie du levier A entraînera la partie antérieure du même levier. Un taquet placé entre le levier B et le point de rotation du levier A limitera la course de ce levier.

La roue C est fixée sur un axe qu'elle entraîne en tournant ; sur ce même axe devant la roue C est fixée une deuxième roue E divisée en autant de parties égales que la roue C, 100 par conséquent. On a inscrit près de la circonférence de cette roue la suite naturelle des nombres de 0 à 99.

Lorsque cette roue aura fait un tour complet, un taquet placé convenablement entraînera une des dents d'une crémaillère horizontale se mouvant sur deux glissières. Au-dessus de chacune des dents de cette crémaillère est placé un écriteau sur lequel on inscrit les centaines, le premier de ces écriteaux n'ayant que 00.

La crémaillère et le cercle E forment l'*indicateur* de l'appareil.

Si maintenant l'on imagine que tout l'appareil qui vient d'être décrit soit enfermé dans une boîte percée de deux lucarnes laissant voir, lorsque l'appareil va commencer à fonctionner, le zéro du cercle D et les 00 de la crémaillère, on voit que chaque fois que le bouton interrupteur sera pressé, une nouvelle unité viendra s'ajouter au nombre déjà indiqué.

Voici de quelle façon on pourra se servir de cet appareil pour voter. Il y aurait sur le bureau du président deux de ces boîtes, une boîte blanche et une noire, et à chaque pupitre des membres de l'assemblée il y aurait deux boutons interrupteurs, un bouton blanc et un bouton noir. Lorsque le moment de voter serait arrivé, un huissier indiquerait successivement le banc qui doit voter, et chaque député presserait à son tour le bouton qui lui conviendrait, les votes allant immédiatement s'additionner dans les compteurs.

Il faut dire que l'on ne peut remplacer ainsi que les votes par assis et levé et les votes au scrutin secret, mais jamais le vote nominatif ; de plus, si par inadvertance on touchait plusieurs fois le même bouton, le vote serait dénaturé.

Voici de quelle façon on peut remédier à cet inconvénient. Toutes les parties qui

viennent d'être décrites restent les mêmes, seulement entre les boutons interrupteurs et les compteurs on placerait un tableau renfermant autant de cases qu'il y aurait de députés.

Lorsque le moment de voter sera arrivé, sur un signe du président tous les députés pourront spontanément toucher le bouton qui leur conviendra, et instantanément un disque correspondant sortira du tableau et indiquera ainsi la nature du vote de chacun.

Les disques sortis seront aussitôt comptés au moyen de deux petits chariots, un pour les disques blancs et un pour les disques noirs, ces chariots obéissant à un moyen de rappel quelconque et complétant autant de fois un circuit qu'ils rencontreront de disques.

Le président, en consultant les deux compteurs, pourra donc immédiatement communiquer à la Chambre le résultat brut du vote, et l'on pourra entamer de suite une nouvelle discussion, tandis qu'un seul secrétaire dressera en peu d'instants l'état nominatif du vote sur une feuille où seront imprimés d'avance les noms des députés dans l'ordre du tableau.

Depuis longtemps on se préoccupe d'améliorer les moyens de voter, surtout au point de vue du temps employé à cette opération.

Par le moyen qui vient d'être indiqué, une assemblée de 500 membres pourrait en moins de 5 minutes non-seulement voter, mais encore connaître le résultat de son vote.

Et, pour rendre plus saisissant l'intérêt que présente cette question, M. Gallaud termine en citant quelques chiffres.

Dans une assemblée comme celle du Sénat, en supposant que l'on vote 120 fois par an et que l'on fasse une économie de 20 minutes par vote, ce qui n'est certes pas exagéré, on obtiendrait une économie totale de 40 heures, c'est-à-dire la valeur d'environ 12 séances, et cela sans augmenter d'une minute le temps consacré aux délibérations.

On verra tout le parti que l'on pourra tirer de ces 40 heures, si l'on considère que c'est souvent faute de temps que l'on remet à la session suivante l'adoption de certaines mesures d'intérêt local qui apporteraient une année plus tôt la richesse dans tout un département et quelquefois préviendraient des désastres tels que les inondations et les fièvres.

M. le Président prie M. Gallaud de reproduire pour le bulletin les principaux faits de sa communication, dont il le remercie.

L'ordre du jour ouvre la discussion du mémoire de M. Dru sur les puits artésiens.

M. Henri Bertot commence par faire remarquer à la Société que les formules, fort intéressantes du reste, de M. Dru ne peuvent donner *à priori* aucune règle utile pour l'établissement d'un puits artésien.

Passant ensuite à l'examen de la formule générale, divisée en trois pertes de charge calculées séparément, M. Bertot dit que cette décomposition est une des causes de l'impuissance de la théorie. Suivant lui, il n'est pas possible d'attribuer à chacune des causes qui produisent des pertes de charge dans le mouvement d'un liquide à travers un tuyau quelconque, des valeurs fixes et séparées, car ces différentes causes doivent s'influencer mutuellement.

C'est aussi pour cette raison que M. Bertot regrette les formules de Prony, Eytelwein et autres, qui attribuent au frottement seul de l'eau contre les tuyaux qu'elle parcourt la totalité des pertes de charge que ces savants ont déduites de leurs expériences.

En effet, soit H une charge d'eau quelconque, qui doit théoriquement produire une vitesse V, admettons que, par suite de différentes résistances, la vitesse ne soit effectivement que U. La perte totale de charge sera donc exprimée par :

$$V^2 - U^2$$

Posons

$$V = mU$$

m étant plus grand que l'unité, on aura ;

$$V^2 - U^2 = (m^2 - 1)\,U^2$$

Or, si l'on remarque que m varie en sens inverse de U, c'est-à-dire que si U augmente, m diminue, et réciproquement, on pourra écrire :

$$m^2 - 1 = f\frac{1}{U}$$

et par suite

$$V^2 - U^2 = f\frac{1}{U}.U^2$$

En développant cette fonction, on trouve :

$$V^2 - U^2 = (d + e\frac{1}{U} + g\frac{1}{U^2} + \ldots\ldots \text{etc.})\,U^2.$$

Si on ne considère que les deux premiers termes de cette série, la perte de charge totale de l'écoulement considéré sera :

$$V^2 - U^2 = eU + dU^2$$

formule qui est justement de la forme de celle trouvée par Prony, Eytelwein, pour les frottements dans les tuyaux,

Si on prend un tuyau d'une longueur L, dont l'inclinaison totale h soit telle que l'eau traverse ce tuyau avec une vitesse justement égale à U, on pourra poser :

$$2gh = eU + dU^2$$

et si on appelle J la pente par mètre courant de conduite, on aura :

$$2gLJ = eU + dU^2$$

formule qui exprime la relation qui existe entre la perte de charge *totale* et la vitesse de l'eau dans la conduite.

Ce résultat confirme M. Bertot dans la pensée que la formule et les coefficients indiqués par Prony tiennent compte implicitement, non-seulement du frottement de l'eau contre le tuyau, mais encore de toutes les causes de pertes de charge, qui existaient dans les tuyaux qui ont servi aux expériences pour la détermination des coefficients.

M. Dru répond qu'il est certain que ses formules ne peuvent servir pour l'établissement d'un puits artésien, mais qu'elles sont utiles pour expliquer les différentes pertes qui peuvent se présenter dans le fonctionnement d'un puits artésien, et que c'est à ce point de vue qu'il a cru intéressant de les présenter à la Société.

Quant à l'impossibilité de séparer les différentes pertes de charge, M. Dru n'est pas de l'avis de M. Bertot, car ces pertes de charge, au nombre de trois, sont parfaitement distinctes.

La contraction à l'entrée du tube est beaucoup moins à craindre que ne le pense M. Bertot, car il doit se produire à la base du tube d'un puits artésien, par suite de l'entraînement des sables, une espèce de cavité en forme d'entonnoir renversé, qui doit remplir en partie l'office d'un ajutage convergent.

A l'occasion des frottements considérables qu'éprouve l'eau pour arriver au bas du tube d'un puits artésien, M. Dru cite les sondages qu'il exécute actuellement aux Tuileries, pour lesquels on a été jusqu'à sept jours avant de ressentir l'effet d'une crue en Seine de 3 mètres.

M. Faure regrette que M. Bertot, à l'occasion du mémoire de M. Dru, vienne remettre en discussion une théorie déjà discutée il y a un mois à la Société, théorie qui lui semble complétement erronée. Quant à la formule de Prony, il ne pense pas que l'artifice, très-ingénieux, de calcul par lequel M. Bertot arrive à une formule de même forme, pour la perte de charge totale, soit une preuve de son inexactitude.

M. Ch. Callon rappelle à la Société ce qu'il a déjà dit dans une précédente séance, c'est-à-dire que les expérimentateurs ont opéré, dans leurs expériences sur l'écoulement de l'eau dans les conduites, de façon à éliminer toutes les causes de pertes de charge autres que le frottement de l'eau dans le tuyau, et que, par conséquent, leurs formules doivent s'appliquer au calcul seul de ce frottement.

M. Callon engage M. Bertot à prendre ceux des différents coefficients qui lui paraîtront préférables, et de les appliquer au tube qu'il propose pour les puits artésiens. A quelque expérimentateur qu'il emprunte ces coefficients, M. Bertot verra qu'il lui est impossible de justifier les données proposées par lui dans le travail qu'il a lu précédemment à la Société.

M. Bertot lit à la Société une lettre de d'Aubuisson, écrite en 1829, dans laquelle ce savant indique que les coefficients de Prony sont probablement exagérés.

M. le Président fait remarquer que les observations de M. Bertot sont de deux natures : elles portent d'abord sur le mémoire de M. Dru, et en second lieu sur le frottement des liquides dans les conduites : il demande donc à la Société de laisser de côté cette dernière question déjà traitée dans une séance précédente, et de ne s'occuper que des observations qui ont un rapport direct avec le travail de M. Dru.

M. Arson demande, avant de clore le débat, d'adresser une dernière question à M. Bertot.

M. Bertot pense-t-il que l'effet de la contraction à l'entrée de la conduite puisse se faire sentir dans toute l'étendue de cette conduite?

M. Bertot répond que théoriquement cette influence ne saurait être douteuse, et que, toutes les pertes de charge étant dépendantes les unes des autres, il ne croit pas possible d'attribuer des valeurs distinctes à chacune d'elles.

MM. Arson et Girard, contrairement aux idées théoriques de M. Bertot, citent l'expérience fort simple de piézomètres plantés sur une conduite, et qui indiquent sur le parcours de cette conduite des pertes de charge égales pour des longueurs égales de conduite.

M. le Président clôt la discussion en observant qu'il ne trouve pas dans les opinions émises par les divers membres une si grande divergence d'opinions que la discussion semble l'indiquer. Il est certain que toutes les pertes de travail sont implicitement comprises dans la formule de Prony : pertes à l'entrée, pertes par le frottement, pertes par la résistance des saillies et des joints, pertes par les tourbillonnements dans

la conduite même; toutes ces pertes sont exprimées en bloc par de Prony, pour chaque partie de la canalisation, et dans l'état actuel des choses il serait certainement impossible d'assigner individuellement la part de chacune d'elles. M. Bertot peut se tromper sur l'importance des relations des diverses influences, mais la communication a ce mérite de montrer comment toutes les résistances, de quelque nature qu'elles soient, viennent se grouper dans une même formule, qui n'est plus dès lors seulement empirique, mais véritablement déduite, quant à sa forme, de considérations théoriques parfaitement fondées.

MM. Birlé, Bara, Lippmann et Revin, ont été reçus membres de la Société.

DESCRIPTION

DU

PONT DE L'ESCAUT

A AUDENARDE

(CHEMIN DE FER HAINAUT ET FLANDRES)

Par M. Auguste DALLOT.

INTRODUCTION.

L'objet de ce mémoire est de présenter à l'examen de la Société une application nouvelle du système de pont bien connu sous le nom de *bowstring*, depuis l'emploi qu'en a fait Brunel aux ponts de Windsor, de Chepstow et de Saltash. Le moment paraît venu pour l'art des constructions métalliques de soumettre à une étude, assez sérieuse pour être définitive, ses principes et ses règles, de comparer entre eux les divers types qu'il a produits, de limiter le champ de leurs applications respectives, en un mot de se fixer. Or, si les idées sont à peu près arrêtées aujourd'hui sur le meilleur mode d'emploi de la tôle sous forme de poutres droites, si les points de science, aussi bien que les questions d'application qui s'y rattachent, ont été suffisamment explorés pour que cette branche puisse être constituée dès à présent en corps de doctrine, personne ne soutiendra que le même résultat soit obtenu pour les arcs. Aux yeux des uns, les ouvrages composés de fermes courbes, quel qu'en soit le mode d'agencement, sont radicalement impropres à livrer passage à un chemin de fer, comme n'étant que des variétés de ponts suspendus. D'autres au contraire, et parmi ceux-ci de sérieuses autorités, considèrent le *bowstring* comme une simple poutre droite, affectant la forme d'égale résis-

tance, et se basent sur ce point de vue dans la détermination des proportions comme dans la combinaison des détails. Si le préjugé des premiers enlève à l'art tout un ordre de solutions qui, les faits l'ont démontré, est susceptible de rendre de grands services, peut-être est-il encore plus dangereux d'en dénaturer le sens. La première condition du succès d'une idée, c'est de ne pas se désavouer elle-même, en cherchant un abri derrière un principe plus populaire, qui l'absorbe et l'étouffe après l'avoir fait dévier de ses tendances logiques. Si le *bow-string* est soumis aux mêmes lois que les poutres droites, il n'a aucune raison d'être. Rattaché au principe de la suspension, il jouit de propriétés précieuses qui dans beaucoup de cas lui assurent la supériorité. De toute manière, il est indispensable d'être fixé sur sa nature pour le placer dans les conditions qui lui conviennent. La question posée en ces termes, on comprend combien il importe qu'elle soit nettement résolue.

Il est inutile de discuter ici l'opinion qui proscrit les arcs comme incapables de résister à l'action de charges mobiles. L'expérience a répondu. Des auteurs, dont la compétence et le mérite sont incontestés, ont mis en lumière les vices théoriques qui ont causé l'insuccès des ponts suspendus et ont posé les règles auxquelles doivent satisfaire les constructions dérivant de ce type fécond auquel on reviendra. On peut donc invoquer sur ce point l'autorité de la chose jugée. Il faut laisser certaines objections s'user d'elles-mêmes. L'emploi de la tôle à l'origine a été également en butte à des attaques spécieuses et passionnées, dont la pratique, beaucoup mieux que tous les raisonnements, a démontré le vide.

Quant à ce qui concerne le véritable caractère du *bow-string*, on ne saurait mieux faire que de donner la parole à Brunel, le père de l'idée. Qu'on interroge ses œuvres. L'émule de Stephenson a-t-il seulement voulu imprimer à ses constructions un cachet original au point de vue plastique? Ses créations ne soulèvent-elles qu'une question de forme? C'est ce qu'*à priori*, il serait impossible d'admettre, et hâtons-nous de le dire, c'est ce que dément d'une façon éclatante l'examen des modèles qu'il nous a laissés.

Dans une poutre droite, pleine ou à treillis, l'âme n'est pas destinée uniquement à maintenir à une distance invariable les parties supérieure et inférieure sur lesquelles s'exerce principalement l'effort de flexion. Son rôle essentiel, dans le travail de l'ensemble, consiste à équilibrer par l'intermédiaire de l'effort tranchant les forces contraires qui sollicitent

les extrémités de chaque section. Il en résulte que l'âme est soumise à une compression croissant en sens inverse des moments fléchissants, c'est-à-dire depuis le milieu jusqu'aux appuis. Dans le *bow-string* au contraire, l'arc et le tirant qui correspondent aux semelles de la poutre droite, étant intimement liés à leurs extrémités et comme encastrés l'un dans l'autre, les efforts de sens contraires qui les sollicitent s'équilibrent d'eux-mêmes à leurs points d'attache. Les pièces qui les réunissent aux points intermédiaires servent donc uniquement à transmettre à l'arc le poids du tablier, et ne sont soumises qu'à des efforts de traction dans le sens de leur longueur. Le sens de l'effort n'est pas changé seul; il est en outre essentiellement modifié dans son intensité et sa répartition. Dans le *bow-string*, le poids du tablier se partage uniformément entre toutes les pièces des tympans qui sont complétement assimilables aux tiges d'un pont suspendu. La compression de l'âme d'une poutre droite est au contraire concentrée dans la région des appuis où elle atteint le poids d'une demi-travée.

On voit maintenant en quoi consiste l'idée de Brunel. Il a voulu résoudre un problème d'égale résistance, simplifier et améliorer une transmission d'efforts, augmenter la stabilité de l'équilibre. Cette idée perce dans le style de ses ouvrages, dans leurs proportions, jusque dans les détails des assemblages. On y sent la vive préoccupation de rendre indestructible la réunion de l'arc et du tirant; soit qu'elle s'obtienne par une pénétration profonde des deux pièces, achetée même au prix de quelques difficultés d'exécution, comme au pont de Windsor, ou par l'emploi d'énormes boulons, dont les dimensions ne permettent aucun doute sur la pensée de l'auteur.

Par quelle anomalie bizarre la réaction de l'appui ne se transmettrait-elle pas intégralement à l'arc dès sa naissance, abandonnerait-elle la grande route, si l'on peut s'exprimer ainsi, pour suivre la voie indirecte et sinueuse des tympans? La logique, l'esprit des lois auxquelles obéissent les forces naturelles, qui satisfont toujours au principe de la *moindre action,* veulent que ce soit par l'organe le plus rigide, le plus résistant et le plus direct que s'opère la transmission de l'effort.

Certes, il serait parfaitement possible de construire un *bow-string* possédant le caractère d'une poutre droite. Rien n'est plus facile que de donner aux tympans une rigidité qui leur permette d'entrer en concurrence pour équilibrer les actions opposées des forces fléchissantes, à la façon du treil-

lis d'une poutre latice. Mais une pareille construction ne serait rien moins qu'économique. La paroi verticale redeviendrait extrêmement coûteuse; et le système, soustrait à la netteté de son principe, perdrait tous ses avantages. Ce n'est pas dans cette voie qu'il faut chercher la stabilité du *bow-string*, les exemples déjà cités l'ont amplement démontré. Avec une solide attache de l'arc et du tirant, *et surtout avec un tablier présentant une résistance suffisante à la déformation*, on peut se confier au principe de la suspension sans aucun danger. C'est ce qu'a pensé Brunel, qui a constamment donné à ses tympans une légèreté tout à fait caractéristique. Cependant ses ouvrages résistent. Leur stabilité, leur état de conservation offrent la sécurité la plus complète. Sa doctrine est donc la vraie puisque le raisonnement la justifie et que l'expérience la confirme. L'embarras de la paroi verticale écarté, la hardiesse de conception peut se donner carrière; l'œuvre prend ses développements logiques. Obéissant à la fois aux exigences de l'économie et au sentiment de l'art, l'ingénieur ne craint pas de suspendre ses arcs à 15^m de hauteur au pont de Chepstow, à 23^m au pont de Salstash!

Nous croyons avoir établi par ce qui précède que le *bow-string* constitue un système distinct, jouissant de propriétés spéciales et d'avantages qui lui sont propres, à savoir, la légèreté des tympans et surtout la faculté de donner aux fermes la hauteur la plus favorable, rendant ainsi possible l'existence d'un contre-ventement supérieur; ressource précieuse, dont on ne dispose pas toujours avec les poutres droites. Pour des travées de 25 à 50^m par exemple, quand le tablier, par suite de sujétions qui se rencontrent fréquemment dans les ponts en tôle, doit être nécessairement placé à la partie inférieure, la hauteur libre des poutres au-dessus de l'entretoisement naturel formé par les pièces de pont s'élève de 2 à 4^m, et il est impossible de les contre-venter par le haut. De là, une tendance évidente au fouettement et au déversement latéral, qu'il faut combattre par des consolidations transversales importantes et rapprochées, par conséquent fort coûteuses. Le *bow-string* se présente donc, dans ce cas, comme une solution réellement utile, surtout pour les ouvrages ne renfermant qu'une ou deux travées, et alors il peut défier au point de vue de l'économie tous les genres de poutres droites. Telles sont précisément les conditions que nous avons rencontrées à Audenarde et l'on connaît maintenant l'ordre d'idées qui nous a guidé dans le choix du système.

La nature des fermes courbes n'est pas seule mise en discussion; les

avis ne sont pas plus unanimes sur le mode de travail des arcs eux-mêmes, dont la théorie est restée jusqu'à présent incertaine et incomplète. Cette lacune compte peut-être parmi les causes qui ont empêché ce genre de construction de se répandre, en laissant planer du doute sur les meilleures conditions de leur emploi et les avantages qu'on peut en retirer. En effet, le *bow-string* accepté en principe, chacun des points suivants devient l'objet d'une controverse : Quelle hauteur convient-il de donner à la flèche? Le poids mort doit-il être faible ou considérable? Quelle doit-être la forme de la section transversale des arcs? Enfin, point essentiel, capital, dont l'importance est universellement reconnue, mais qui jusqu'ici est demeuré obscur, de quelle façon se répartissent les pressions dans une même section transversale?

Deux méthodes sont généralement en usage pour déterminer les conditions de stabilité des arcs. Dans la première, on calcule les réactions, qui sollicitent leurs diverses parties, en les considérant comme invariables de forme, de la même manière que pour un pont en maçonnerie. Les principes de l'équilibre des corps solides fournissent un certain nombre d'équations dans lesquelles entrent les forces qu'on se propose d'obtenir. Mais le problème est indéterminé, puisqu'il est évidemment impossible d'évaluer les actions mutuelles qui se produisent entre les différentes parties d'un corps, si l'on ne tient pas compte des lois qui régissent ces actions mutuelles, en introduisant dans la question la considération de l'élasticité; surtout quand il s'agit de corps tels que les métaux où cette propriété joue un si grand rôle. Les données sur lesquelles on fait reposer la recherche de la solution se trouvant incomplètes, on obtient un moindre nombre d'équations que d'inconnues, et l'on est contraint de suppléer à cette lacune en faisant des hypothèses sur la position des points d'application des forces en diverses parties de l'arc. Rien ne guide dans l'établissement de ces hypothèses qui sont ainsi complétement arbitraires, et cette absence de toute base fixe entraîne la nécessité de forcer notablement toutes les dimensions, sacrifice au prix duquel on n'achète même pas la certitude qu'aucune partie de l'ouvrage n'aura à supporter une fatigue excessive. Le moyen qu'on emploie le plus fréquemment pour renforcer les points faibles ou douteux, consiste à augmenter en ces points la hauteur de l'arc. Or, cette augmentation a parfois pour résultats de déplacer la courbe des pressions d'une façon désavantageuse à la résistance, effet essentiellement

inhérent au jeu de l'élasticité, et qu'aucune espèce de considération, placée en dehors de cet ordre d'idées, ne peut calculer ni prévoir. Il est donc hors de doute que, dans les arcs dont les dimensions ont été déterminées de cette manière, les conditions dans lesquelles travaillent les différentes parties doivent être souvent très-différentes de celles qui avaient été prévues. Ces mécomptes se révèlent par des vibrations inquiétantes et par des déformations, dont on fait supporter la responsabilité au système, tandis qu'elle ne devrait incomber qu'à son mode d'application. Il n'en résulte généralement pas d'accidents graves, parce que les charges auxquelles on soumet les matériaux sont toujours très-notablement inférieures à celles susceptibles de déterminer leur rupture. Mais la répartition vicieuse des efforts, et l'exagération de leur intensité en certains points qui en est la suite, doivent inévitablement porter préjudice à la durée de la construction affectée de ces défauts.

La méthode dont nous venons de faire la critique est pourtant celle qui a servi à calculer la plupart des ponts à arcs métalliques établis jusqu'à ce jour. La seconde méthode, encore peu vulgarisée, tient compte de la déformation que subissent les arcs, en faisant intervenir la considération de l'élasticité, d'après les mêmes principes que dans le calcul des poutres droites. Cette théorie, dont les bases ont été posées par Navier, place la question sur son véritable terrain. Encore un pas en avant, et elle arrive à une solution complète. Ses fondements sont irréprochables. Ce sont les deux principes de la proportionnalité des allongements ou raccourcissements aux efforts qui les produisent, et de la situation dans un même plan après la déformation de toutes les molécules d'une section normale d'un prisme dont l'axe n'a qu'une faible courbure. On peut contester ces propositions pour les matériaux peu élastiques, tels que les pierres et les diverses maçonneries; mais, depuis les dernières expériences de M. Morin sur la flexion, elles sont hors de doute pour les métaux, dans la limite de l'intensité des forces auxquelles on les soumet habituellement. Il était donc regrettable que, touchant de si près à la vérité, la théorie conservât l'hypothèse, suspecte à juste titre, de la coïncidence du centre des pressions avec le centre de gravité dans la section des naissances. Nous avons cherché à faire disparaître cette imperfection. On verra dans le détail de nos calculs combien il était facile de s'affranchir de toute hypothèse gratuite, et d'obtenir des formules dont on pût accepter les résultats sans défiance.

L'étude de la répartition des forces intérieures dans l'étendue d'un arc, effectuée d'après la méthode rigoureuse que nous venons d'indiquer, conduit à reconnaître que, sous l'action d'une charge même uniformément répartie sur toute la longueur de la corde, la résultante des pressions passe vers le haut de la section à la clef et vers le bas de la section des naissances. C'est du reste ce qui se passe dans les voûtes surbaissées. On s'explique très-bien ce fait en remarquant que, par suite de la flexion, l'angle au centre tendant à diminuer, l'assemblage de l'arc avec ses appuis tend à s'ouvrir au haut, ce qui concentre la pression à sa partie inférieure. A la clef, c'est évidemment l'effet inverse qui se produit. Dans le cas d'une surcharge inégalement répartie, l'irrégularité de la distribution des forces dans une même section est encore plus grande, et la courbe des pressions sort de l'arc. Cette irrégularité est fort nuisible, tant parce qu'elle conduit à augmenter très-notablement la quantité de matière des arcs, que parce qu'elle engendre des déformations qui fatiguent beaucoup les assemblages. Les constructeurs l'ont si bien senti, qu'ils ont eu recours à divers expédients pour remédier au vice que nous signalons. Au pont du canal Saint-Denis qui livre passage à la ligne de Creil, on a fait reposer les arcs à leurs extrémités sur de véritables pivots, dans le but de faire passer la réaction de l'appui par le centre de gravité du plan des naissances, et en outre pour permettre à ce plan d'obéir à l'effort de flexion qui tend à l'incliner. Cette disposition ne nous semble propre qu'à faciliter les vibrations. D'abord il ne suffit pas de rectifier la courbe des pressions dans la région des appuis ; il faut encore qu'elle soit convenablement placée dans le centre de l'arc. La considération de l'élasticité n'étant pas entrée dans l'étude de son tracé, il a été impossible de s'en rendre un compte exact. D'autre part, si l'emploi d'articulations paraît vicieux en thèse générale, à plus forte raison en est-il ainsi quand ces articulations se trouvent aux naissances, c'est-à-dire dans les parties les plus déformables par le fait du travail normal. Cette déformation, il faut s'attacher à la combattre, au lieu de lui venir en aide. Il conviendrait même d'encastrer les arcs dans les culées, s'il n'en devait résulter d'autres inconvénients.

On a encore essayé, dans le cas assez général où des coins sont interposés entre la culée et la naissance de l'arc, de rendre le serrage plus considérable sur les deux coins qui comprennent le centre de gravité dans leur intervalle. On a même proposé de donner à ces coins, au moyen

de la presse hydraulique, un serrage égal à la dernière résultante tangentielle de la courbe des pressions, calculée dans l'hypothèse de son passage au milieu de la clef, dans le but de réaliser les conditions théoriques les plus favorables. Cette ingénieuse méthode améliorerait incontestablement l'état des choses. Mais son efficacité ne serait peut-être pas absolue. Il nous semble évident que le jeu de la dilatation, pour ne parler que de cette cause, modifierait l'équilibre artificiel dans lequel on aurait placé les arcs. De plus, il serait nécessaire de donner aux naissances une forme spéciale qui les rendît aptes à résister à l'intensité de l'effort concentré sur un seul point, et l'on retomberait sur une disposition plus ou moins semblable à celle du pont du canal Saint-Denis.

En dehors de ces considérations, la disposition précédente ne peut s'appliquer aux fermes du *bow-string*, dans lesquelles il importe beaucoup d'établir la connexion la plus intime possible entre l'arc et le tirant. Nous avons tenté au pont de l'Escaut l'application d'un principe analogue, qui consiste à interrompre la continuité de l'arc à la clef, en n'établissant le contact qu'au milieu de la section par l'intermédiaire de coins. Il est clair que la transmission de la poussée doit nécessairement s'opérer dans cette partie. Si en outre les deux surfaces, qui butent l'une contre l'autre sur la seule hauteur des coins établissant le contact, sont convenablement armées et renforcées, de façon à ce qu'aucune déformation, même très-faible, ne soit possible au point où la réaction se transmet, cette réaction se disséminera uniformément sur toute leur étendue. On conçoit dès lors qu'en s'appuyant sur la base fixe obtenue ainsi, à savoir le point de passage de la courbe des pressions au milieu de la clef, on peut arriver aisément, par un tâtonnement assez restreint, à remplir la même condition dans la région des naissances. On dispose en effet pour cela, de la flèche et du moment d'inertie des sections aux divers points de l'arc, quantités dont la courbe des pressions est une fonction implicite. Dans le cas d'une surcharge inégalement répartie, cette courbe est encore nécessairement dissymétrique; mais elle passe toujours par le milieu de la clef, et par ce seul fait le reste de son tracé se trouve notablement amélioré.

Quant à l'action de la température, nous n'avons pas à nous en occuper ici; car elle est sans influence dans le cas du *bow-string*. Pour des arcs ordinaires, elle modifierait incontestablement l'équilibre dans le

voisinage des naissances, mais non dans la région de la clef où l'on est ordinairement le plus gêné.

Nous l'avons déjà observé, la seule partie d'un arc uniformément chargé, qui se déforme par suite de la flexion, est la portion comprise entre les reins et les naissances. Quant à la partie supérieure, elle s'abaisse simplement, parallèlement à elle-même et sans déformation, par suite de la flexion des parties inférieures. Les coins ne se trouvent donc soumis dans ce cas qu'à un effort de compression normal, et leur travail s'effectue dans les conditions les plus régulières. Lorsque la surcharge n'est pas uniforme, il n'en est plus de même. La poussée à la clef s'incline sur l'horizontale, et engendre un effort tranchant qui tend à disloquer l'assemblage. Nous tenons à présenter dans toute sa gravité l'objection qui, comme on va le voir, disparaît complétement par le fait des conditions où nous nous sommes placé. C'est dans un poids mort considérable que nous avons cherché le remède. A nos yeux une lourde charge permanente est inséparable du système du *bow-string*, et en général de tous les types qui se rattachent de plus ou moins près au principe de la suspension. Cette façon de voir est confirmée par la pratique de Brunel. Elle paraît surtout justifiée pour les ouvrages dans lesquels la flèche est grande relativement à la portée. Nous n'avons donc eu aucun sacrifice à faire au mode de construction spécial de nos arcs. Loin de se contrarier mutuellement, les diverses conditions que nous cherchions à remplir se sont trouvées en parfaite harmonie. Grâce à la quantité considérable de ballast, dont nous avons chargé le tablier, nous avons obtenu la stabilité, l'amortissement des vibrations, la complète indépendance de la voie, et enfin nous avons anéanti l'effort tranchant que nous signalions tout à l'heure. L'intensité de la charge permanente a créé une composante normale prépondérante, qui a complétement atténué l'effet de la réaction oblique, due à la position variable de la charge mobile; à tel point que, lorsque cette surcharge occupe une des moitiés de la travée, ce qui est le cas le plus défavorable, l'inclinaison sur l'horizontale de la résultante à la clef n'est que de 4° 35′, et que la composante normale s'élevant à 88,000^{k}, l'effort tranchant n'atteint que 7,000^{k}. On voit donc, qu'en dehors des pièces spéciales que nous lui avons opposées, l'action de cet effort rencontre un obstacle invincible dans l'énorme frottement qu'engendre la pression exercée sur les coins; et la crainte de la destruction de l'assemblage devient par conséquent chimérique.

Nous signalerons encore un avantage imprévu de notre disposition, c'est qu'elle facilite le montage, toujours délicat pour de grandes fermes quand il n'existe aucun moyen de règlement. A l'aide des coins de serrage de la clef, on peut tendre le tirant autant qu'on veut, et corriger ainsi le faible voilement presque inévitablement produit par le transport et les manœuvres du levage.

Les diverses doctrines, que nous avons émises dans cette introduction, ont été vivement controversées, quand nous avons dû les présenter pour en provoquer l'application. Cet état d'incertitude des esprits, sur des points qu'il serait fort désirable de voir complétement élucidés, nous a précisément engagé à apporter dans la discussion notre contingent. En pareille matière l'expérience est le souverain juge. La pratique seule permettra d'apprécier définitivement la valeur de nos dispositions qui ont déjà pour elles les résultats des premiers essais. Mais en attendant la sanction du temps, nous croyons bon et utile de soumettre notre travail au jugement de la critique. Peut-être, d'ailleurs, n'est-il pas hors de propos de réveiller au sujet des constructions métalliques quelques questions de principes, dans un moment où l'on paraît abandonner ceux d'entre eux qui semblaient le plus solidement établis, et où les *projets de constructeur* sont l'objet d'un engouement qu'il est permis de trouver exagéré, au détriment des principes féconds et rationnels qui ont fait la gloire et le succès de l'emploi de la tôle.

Il nous reste, en terminant, à remercier hautement M. Léon Marsillon, ingénieur en chef du chemin de fer Hainaut et Flandres, sous la direction de qui nous avons étudié et fait exécuter le pont de l'Escaut, pour l'appui généreux et sympathique qu'il a bien voulu prêter à nos idées, dont l'application a été réalisée le jour même où il s'est trouvé maître de les faire prévaloir.

CHAPITRE PREMIER

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE.

Conditions d'emplacement et de débouché. — Le chemin de fer Hainaut et Flandres franchit l'Escaut près d'Audenarde en faisant avec son cours un angle de 59° 41′ 25″. Le débouché, exigé par le régime des eaux, étant de 21 mètres, et un chemin de halage de 3 mètres de largeur ayant dû être établi le long de la rive droite, l'écartement des culées, mesuré normalement, est de 24 mètres; et la même distance, mesurée parallèlement à la direction du chemin de fer, se trouve portée, en raison du biais, à 27m,80.

La cote du niveau du rail ne permettait l'établissement, ni d'un pont en maçonnerie, ni d'un pont à arcs métalliques placés au-dessous de la voie. Dans le premier cas, l'épaisseur qu'il eût fallu donner à la clef n'eût pas laissé assez de hauteur pour la navigation. Avec le second système, le débouché sous clef eût été suffisant, il est vrai, mais les naissances fussent descendues trop bas pour permettre la circulation sur le chemin de halage. La nature du sol des fondations n'était d'ailleurs pas favorable à la construction de culées devant supporter la poussée d'arcs très-surbaissés de 28 mètres d'ouverture.

Système adopté. — La disposition qui a été adoptée appartient au type connu sous le nom de *bow-string*. Elle se compose essentiellement de trois fermes en tôle et fer, deux en garde-corps, la troisième dans l'entre-voie. Chacune de ces fermes est formée d'un arc dont les deux extrémités sont reliées par une poutre droite ou *tirant*. La voie, placée à la partie inférieure, est supportée directement par les tirants, qui transmettent la charge aux arcs, auxquels ils sont suspendus par un système de barres verticales et de croix de Saint-André. Les arcs sont reliés entre eux à la partie supérieure par un contreventement, destiné à s'opposer au déversement des fermes, et à donner de la rigidité à l'ensemble de la construction.

Tablier. — Le tablier, proprement dit, est formé de la manière suivante : Les tirants sont réunis par des pièces de pont, écartées de 2^m,587 d'axe en axe, et munies elles-mêmes d'entretoises placées à l'aplomb des rails. Les vides des cadres ainsi formés sont remplis par de petites voûtes en briques, dont les retombées sont reçues au moyen de coussinets en pierre par les nervures inférieures des entretoises et les ailes horizontales de quatre files de cornières rivées le long des tirants. Ces voûtes ont 0^m,16 d'épaisseur, 1^m,40 d'ouverture et 0^m,14 de flèche. Elles sont recouvertes d'une chape en ciment de 0^m,03 d'épaisseur, et munies de gargouilles en fonte pour l'écoulement des eaux. Le ballast couvre le tout sur une épaisseur de 0^m,55 au sommet des voûtes, de 0^m,65 aux retombées ; de sorte que la voie, posée sur longrines sur la longueur du pont, se trouve totalement indépendante de la partie métallique. Les longrines, dont la section mesure 0^m,28 sur 0^m,18, sont réunies à l'aplomb de chaque pièce de pont par des fourrures ou entretoises en bois de 0^m,15 sur 0^m,15, fixées au moyen de harpons.

Cette disposition du tablier présente des avantages faciles à reconnaître. D'une part, les voûtes en briques sont de beaucoup préférables à un plancher en bois, qui pourrit toujours rapidement quand il est placé au-dessus d'un cours d'eau. D'autre part, l'indépendance de la voie, la grande masse de ballast interposée entre celle-ci et la partie métallique, contribuent puissamment à amortir les chocs des véhicules, et à répartir uniformément la charge mobile sur une grande surface. Les voûtes constituent par elles-mêmes un excellent système d'entretoises, et établissent entre toutes les parties du tablier une solidarité qu'il serait impossible d'obtenir sans leur secours. Enfin, l'ouvrage tout entier reçoit du poids considérable concentré à sa base, des éléments de stabilité d'une importance toute spéciale pour l'emploi de fermes d'une grande hauteur. Dans l'hypothèse du maximum de la charge mobile, le poids de cette dernière n'est au poids de l'ouvrage que dans le rapport de 2 à 3. Ce rapport est de 1 à 3 au maximum quand une seule voie se trouve chargée, ce qui constitue la condition la plus ordinaire de l'exploitation. Cette circonstance, la nature du tablier, le système des tympans, formés de croix de Saint-André, enfin, le contreventement supérieur des arcs rendent le pont remarquablement stable, et lui enlèvent toute tendance à vibrer au passage des trains.

Détails de construction des fermes. — Nous allons entrer maintenant dans quelques détails au sujet de la construction des fermes et de leurs principales dimensions. L'intrados des arcs a 27^m,80 de corde, c'est-à-dire exactement la distance des culées suivant le biais, et 4^m,675 de flèche. La hauteur du tirant est de 0^m,96, l'épaisseur de l'arc à la clef 0^m,35, ce qui donne 5^m,985 pour la hauteur totale d'une ferme. La distance minima entre le dessus du rail qui affleure avec le dessus du tirant et le dessous

du contreventement est de 4^{m},65. L'écartement de deux fermes voisines est de 4^{m},425 d'axe en axe, et la distance de leurs bords intérieurs est de 4^{m},00, comprenant 1^{m},50 de largeur de voie et deux accotements de 1^{m},25. L'entrevoie est de 3 mètres.

La section des arcs et des tirants présente la forme d'un double T à semelles égales. Des fers à simple T, rivés contre les âmes de distance en distance, servent à les consolider et à leur donner de la rigidité. Ces fers s'infléchissent à leurs extrémités, de façon à venir s'appliquer contre les semelles, en prenant la forme d'un U couché. La hauteur des arcs augmente, depuis la clef où elle est de 0^{m},35 jusqu'aux naissances où elle atteint 0^{m},80. Les semelles des arcs et des tirants ont été faites d'égale largeur dans chaque ferme afin de simplifier leur assemblage. Cette largeur est de 0^{m},35 pour les fermes de rive, de 0^{m},50 pour la ferme intermédiaire. Le rapport de la largeur de la section des arcs à sa hauteur est ainsi de 0^{m},44 au minimum, et de 1 au maximum pour les arcs de rive; de 0^{m},625 au minimum, et de 1,43 au maximum pour l'arc du milieu, rapports qui placent les arcs dans d'excellentes conditions au point de vue de la résistance à la compression. Dans les fermes de rive, l'épaisseur des semelles et de l'âme est de 0^{m},007 pour les tirants, et 0^{m},010 pour les arcs. Les cornières sont à ailes inégales de 0^{m},100 et 0^{m},075 de largeur; leur épaisseur est pour les tirants de 0^{m},010, et pour les arcs de 0^{m},012. Dans la ferme intermédiaire, l'épaisseur des semelles et de l'âme est pour le tirant de 0^{m},010, pour l'arc de 0^{m},013. Les cornières ont 0^{m},151 et 0^{m},082 de largeur d'aile sur 0^{m},0125 d'épaisseur pour le tirant, et 0^{m},015 pour l'arc.

Assemblage de l'arc et du tirant. — L'assemblage de l'arc et du tirant est obtenu par la rivure de la semelle inférieure du premier contre la semelle inférieure du second, qui s'infléchit à ses deux extrémités. Cet assemblage, qui a lieu sur une longueur de 1^{m},55, constitue un encastrement parfait des extrémités de l'arc, ayant pour effet de rendre invariable la direction de leurs éléments; ces extrémités pouvant du reste s'écarter ou se rapprocher horizontalement, suivant que le tirant s'allonge ou se raccourcit.

Mode de construction de la clef. — Les arcs ne sont pas faits d'une seule pièce, mais composés chacun de deux demi-arcs tout à fait distincts et parfaitement symétriques, qui butent l'un contre l'autre par l'intermédiaire de coins. On a vu dans l'introduction quelles idées théoriques ont conduit à cette disposition. Il nous reste à en décrire les détails. A l'extrémité de chaque demi-arc, l'âme est découpée en demi-cercle; la semelle et les cornières épousent exactement cette forme. Cette tête demi-circulaire est armée d'un fort étrier en acier de toute la largeur de la semelle, portant en son milieu deux ergots entre lesquels

sont logés les coins de serrage. Avec un coin unique, la pression pourrait ne pas se transmettre uniformément sur toute la longueur du coin : c'est pour cela qu'il y a une clef et une contre-clef. Les faces horizontales de ces deux pièces sont recouvertes par des plates-bandes destinées à les empêcher de glisser verticalement l'une contre l'autre, et à en faire un tout solidaire pour résister à l'effort tranchant qui se produit en ce point, quand la surcharge n'est pas disposée symétriquement sur le tablier. Deux fourrures de 0m,010 d'épaisseur, et 0m,275 de longueur, renforcent l'âme de l'arc à son extrémité, afin de la roidir et de rendre l'assise de l'étrier absolument invariable. Les coins sont en acier fondu; leur hauteur est de 0m,04 dans les arcs de rive, de 0m,05 dans l'arc du milieu; leur largeur est de 0m,025 à une extrémité, de 0m,015 à l'autre, dans le premier cas, de 0m,030 et de 0m,020 dans le second; leur serrage est donc de 0m,010. L'épaisseur des étriers, contre lesquels s'exerce leur pression, est de 0m,40 pour les arcs de rive, et de 0m,050 pour l'arc intermédiaire. Ces épaisseurs diminuent graduellement jusqu'aux extrémités où elles se trouvent réduites à 0m,020 et 0m,025.

Armées de cette manière, les têtes des deux demi-arcs en contact sont rendues parfaitement rigides et indéformables. La poussée, transmise de l'une à l'autre en leur milieu, doit donc nécessairement se répartir dans toute la section de l'arc, et le but qu'on avait en vue se trouve ainsi complétement atteint.

Composition des tympans. — Les croix de Saint-André et les montants verticaux qui composent les tympans sont formés de fers à T accolés par leurs semelles. Leur assemblage avec les tirants et les arcs s'opère au moyen de goussets demi-circulaires contre lesquels ils viennent se river, et qui sont eux-mêmes réunis aux poutres au moyen de cornières et de couvre-joints; des rainures sont percées dans les semelles pour le passage de ces derniers. Les fers à T des montants verticaux s'infléchissent de façon à venir se river contre les semelles à la manière de ceux qui servent à consolider les âmes. Dans les croix de Saint-André, un fer de chacune des barres de la croix est continu; le fer qui lui est accolé est au contraire interrompu à l'intersection des barres; un gousset circulaire sert à opérer l'assemblage. Les fers à T qui entrent dans les tympans de la ferme intermédiaire ont 0m,15 de largeur de semelle, 0m,08 de hauteur et 0m,012 d'épaisseur. Ceux des fermes de rive ont 0m,122 de largeur de semelle, 0m,065 de hauteur et 0m,009 d'épaisseur. Ce sont ces derniers fers qui sont employés pour le contreventement des arcs.

Contreventement. — Le contreventement se compose d'un système de barres parallèles aux culées, et d'un autre système de barres perpendiculaires à l'axe du chemin de fer, formant les diagonales des parallélogrammes figurés par les barres du premier système. Ces dernières,

naturellement obliques par rapport aux semelles qu'elles réunissent, s'infléchissent à leurs extrémités de façon à devenir parallèles aux autres sur la longueur de la partie rivée. Des goussets réunissent les deux systèmes au point où ils s'écartent l'un de l'autre afin d'en augmenter la rigidité. Les barres du contreventement, comme celles des tympans sont composées de deux fers accolés. La longueur de la partie contreventée est de 7m,76, c'est-à-dire plus d'un quart de la portée.

Mode d'appui des fermes sur les culées. — Les fermes sont fixées sur l'une des culées; leur autre extrémité est mobile. Cette disposition permet à l'allongement produit par la dilatation et la tension que les arcs exercent sur les tirants de s'opérer librement. L'extrémité fixe porte une contre-semelle de 2m de longueur et 0m,02 d'épaisseur, munie de deux nervures qui pénètrent dans l'assise d'appui sur laquelle cette semelle repose par l'intermédiaire d'une feuille de plomb de 0m,01 d'épaisseur. L'extrémité mobile repose sur 13 rouleaux en fonte de 0m,10 de diamètre, écartés de 0m,15 d'axe en axe. Ces rouleaux sont évidés intérieurement; leur épaisseur est de 0m,02. Ils sont munis de tourillons en fer, vissés à leurs extrémités, qui s'engagent dans des plaques de garde servant à maintenir leur écartement. La table sur laquelle s'opère le roulement consiste en une feuille de tôle de 0m,015 d'épaisseur, reposant sur une feuille de plomb de 0m,01 assise directement sur la pierre. Celle-ci se trouve mise par cette précaution à l'abri des chocs.

Pièces de pont. — Il ne nous reste plus, pour compléter la description du tablier, qu'à indiquer le mode de construction des pièces de pont et des entretoises. Les pièces de pont jouent un double rôle dans l'équilibre du système. Elles doivent supporter les voies ainsi que le poids de la majeure partie du tablier, puis relier les fermes entre elles de manière à remplir à leur égard l'office d'un entretoisement parfait. Leur construction a été étudiée en vue de leur donner la résistance et la roideur que ces deux conditions réclament. Ce sont des poutres à double T, composées d'une âme de 0m,008 d'épaisseur et de quatre cornières de 0m,075 de largeur d'aile et 0m,010 d'épaisseur. L'âme se compose de trois pièces : une partie droite de 0m,45 de hauteur et deux parties trapézoïdales disposées de part et d'autre de la première avec laquelle elles sont solidement assemblées au moyen de forts couvre-joints. Ces trois pièces sont encore réunies par les cornières qui forment les semelles des T et qui ne sont pas interrompues à l'endroit de leurs assemblages. Les cornières inférieures s'infléchissent aux deux extrémités de la pièce de pont et sont rivées contre les âmes des tirants, auxquels cette pièce aboutit, sur toute la hauteur des âmes. Il résulte de ce mode de construction que la partie droite peut être considérée comme encastrée à ses deux extrémités; car les goussets entre lesquels elle est comprise sont trop rigides pour pouvoir subir la

moindre inflexion. Les extrémités de la partie droite devront donc conserver nécessairement la direction horizontale, et c'est là précisément la définition de l'encastrement. La longueur totale des pièces de pont est de $4^m,4165$; la longueur de la partie droite est de $3^m,40$.

Entretoises. — Les entretoises des pièces de pont sont des poutrelles à double T en fer laminé de $0^m,26$ de hauteur. La largeur des nervures est de $0^m,12$, leur épaisseur moyenne de $0^m,0125$, l'épaisseur de l'âme de $0^m,011$. Elles sont réunies aux pièces de pont par des cornières qui règnent sur toute leur hauteur. Le nombre des rivets est calculé de façon à ce qu'elles ne puissent fléchir à leurs extrémités, afin d'en réaliser l'encastrement.

Garde-grèves. — Le tablier est terminé à ses deux extrémités par des garde-grèves, parallèles aux bords des culées, qui ne diffèrent des autres pièces de pont que par leur direction biaise.

Poids de la partie métallique du tablier. — Le poids de la partie métallique du pont de l'Escaut s'élève à $84,535^k$, soit $2,577^k$ par mètre courant de pont, et se décompose ainsi qu'il suit :

Fermes	Arcs	25,796	
	Tirants	23,344	60,533^k
	Tympans	11,393	
	Pièces de pont et garde-grèves		10,239
	Entretoises des pièces de pont		7,418
	Contreventement et divers		6,345
			84,535

Épreuves. — Nous donnons ci-contre le tableau des résultats des épreuves officielles qui ont eu lieu le 12 août 1861 en présence des Ingénieurs de l'État belge.

La première voie de chemin de fer Hainaut et Flandres étant seule construite, la deuxième voie n'a pu recevoir qu'une surcharge fixe. Cette surcharge était composée de :

$39,942^k$ placés au milieu de la portée,
et $27,090^k$ répartis uniformément,

ce qui équivaut à $106,974^k$ uniformément répartis sur toute la longueur de la travée.

La première voie a reçu d'abord en stationnement deux locomotives et leurs tenders, placés comme l'indique le croquis ci-contre.

POSITION DES MACHINES AU REPOS.



Chaque locomotive pesait 32,500^k, chaque tender 20,000^k.

La surcharge de la première voie s'est donc élevée à 105,000^k.

Les deux machines et leurs tenders ont ensuite traversé le pont à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure.

Les expériences ont porté sur les flexions des tirants. Ces flexions ont été mesurées au moyen d'un appareil qui les reproduisait au décuple sur un cadran divisé.

Tableau des résultats des épreuves du pont de l'Escaut.

INDICATION DES PIÈCES EN EXPÉRIENCE et des conditions de chaque épreuve.		CHARGE AU REPOS (2e voie.)		CHARGE MOBILE (1re voie.)			
		FLÈCHES.		MACHINES AU REPOS. FLÈCHES.		MACHINES EN MARCHE. FLÈCHES.	
		sous charge.	la charge enlevée.	au stationnement.	après stationnement.	pendant la marche.	après la marche.
Poutre de rive (côté de la 2e voie.)	2e voie sans charge.	«	«	«	«	«	«
	2e voie avec charge.	0^m,0050	0^m,0005	«	«	«	«
Poutre du milieu...	2e voie sans charge.	«	«	0^m,0022	0^m,0005	0^m,0022	0^m,0005
	2e voie avec charge.	0^m,0040	0^m,0005	0 ,0060	0 ,0005	0 ,0060	0 ,0005
Poutre de rive (côté de la 1re voie.)	2e voie sans charge.	«	«	0 ,0040	0 ,0005	0 ,0040	0 ,0005
	2e voie avec charge.	«	«	0 ,0040	0 ,0005	0 ,0040	0 ,0005

Ces résultats accusent une stabilité remarquable que les surcharges accidentelles, même mobiles, ne modifient que très-légèrement. Mais nous y trouvons en outre la confirmation expérimentale de nos idées sur la théorie du *bow-string*. Le calcul faisait prévoir une flexion de 0^m,012 pour les arcs, sous les charges d'épreuves qu'ils ont subies; et en effet, toute construction composée de poutres droites ou d'arcs en dessous,

placée dans les meilleures conditions, eût certainement pris des flèches bien supérieures à celles qui ont été constatées pour les tirants. Il faut donc que le système dont nous nous occupons diffère essentiellement par son mode d'action de la poutre latice. La traction exercée par la poussée de l'arc sur les extrémités du tirant vient diminuer la flèche qu'il tend à prendre, et c'est là précisément ce qui produit la stabilité particulière du *bow-string*.

Dans toute ferme qui se comporterait à la manière d'une poutre droite, l'effort horizontal que nous signalons, et qui produit une sorte d'encastrement des extrémités du tirant, n'existerait pas.

Enfin l'absence de vibrations notables qui a été remarquée pendant les épreuves vient encore à l'appui de notre opinion sur l'inutilité de donner aux tympans une rigidité très-étendue. La rigidité du tablier importe bien davantage, condition qui s'est trouvée remarquablement remplie.

Pour en donner une idée, nous rapporterons un incident qui s'est produit pendant le levage. La mise en place s'est opérée par voie de traction. Chaque ferme glissait sur deux systèmes de rouleaux, placés l'un à l'arrière, l'autre près du bord de la culée. Par suite d'un tassement de la plate-forme sur laquelle le pont avait été monté, la ferme intermédiaire cessa de porter sur ses rouleaux d'avant et se trouva ainsi suspendue entre les deux fermes de rive, par l'intermédiaire des pièces de pont. Ces dernières ne fléchirent cependant pas de la plus petite quantité appréciable.

Nous attachons aussi une grande importance à la grande intensité de la charge permanente qui empêche les vibrations de se produire, le métal étant soumis à un travail d'une intensité peu variable. On reprochera à ce principe d'être contraire à l'économie. Mais nous ferons observer que le poids de la partie métallique du pont de l'Escaut est inférieur à celui qu'il eût été nécessaire d'employer dans tout autre système n'exerçant pas de poussée horizontale sur les maçonneries. Il nous suffira de dire que les culées ont dû être établies sur grillage et plate-forme à raison d'un pieu par mètre carré, pour que l'on comprenne combien il était désirable de les réduire au minimum strict.

Pour faciliter l'appréciation des résultats qui précèdent, nous croyons devoir rapporter ici un extrait du procès-verbal des épreuves du pont construit sur la Sambre, près Maubeuge pour le passage du chemin de fer du Nord. La portée de cet ouvrage, ne différant pas notablement de celle du pont de l'Escaut, se prête par conséquent à la comparaison.

Le pont de Maubeuge est supporté par 4 arcs en tôle de 32^{m},50 d'ouverture et 4^{m},05 de flèche. Le tablier proprement dit se compose de madriers jointifs, faisant à la fois pièces de pont et platelages. Ces madriers reçoivent directement les rails.

Les flèches ont été mesurées au moyen d'une tige assujettie à une armature qui réunissait les deux arcs intermédiaires. Cette tige était arti-

culée à l'extrémité d'un des bras d'une aiguille mobile autour d'un axe; l'extrémité de l'autre bras, décuple du premier, parcourait un cadran divisé.

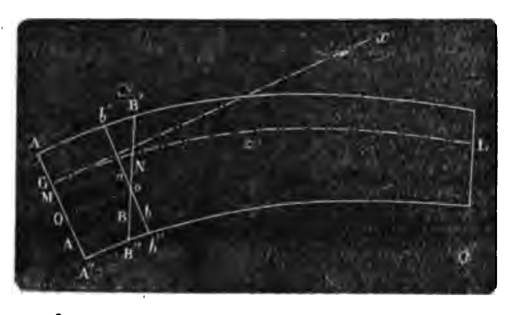
Tableau des résultats des épreuves du pont de Maubeuge.

NUMÉROS des ÉPREUVES.	INDICATION DES ÉPREUVES.	ABAISSEMENTS en millimètres.	OBSERVATIONS.
	1° ÉPREUVES STATIQUES.		
1	Une machine de 50t (tender compris) au milieu du pont sur la voie de droite............ (Longueur de la machine et du tender 13m,30.)	0m,0060	Flexion permanente nulle.
2	Deux machines de 50t au milieu du pont, Une sur chaque voie.................	0 ,0120	Flexion permanente de 0m,0005.
3	Deux machines de 50t au milieu du pont, Sur la voie de droite................	0 ,0065	Nouvelle flexion permanente de 0m,0005, en tout 0m,0010.
4	Deux machines de 50t au milieu du pont, Sur la voie de gauche...............	0 ,0065	Nouvelle flexion permanente de 0m,00025, en tout 0m,00125.
5	Quatre machines sur le pont; Deux de 50t sur la voie de gauche......... Une de 50t et une de 34t sur la voie de droite.	0 ,01425	Flexion permanente totale de 0m,002.
	2° ÉPREUVES MOBILES A GRANDE VITESSE.		
6	Un train de deux machines de 50t et dix waggons de dix tonnes sur la voie de droite.......	0 ,0080	
7	*Idem.* sur la voie de gauche......	0 ,0090	
8	Quatre machines sur la voie de droite.......	0 ,0100	
9	Deux trains, composés chacun de deux machines et dix waggons de 10t, marchant parallèlement sur les voies..................	0 ,0150	
10	Deux trains marchant en sens contraires.....	0 ,0125	La réduction dans l'abaissement est probablement due à la difficulté d'obtenir le croisement au milieu du pont.

CHAPITRE II.

EXPOSITION DES FORMULES QUI ONT SERVI A CALCULER LES ARCS.

Rappel des bases de la théorie des pièces courbes. — Les arcs généralement employés dans les constructions, et en particulier ceux du pont de l'Escaut, satisfont à la définition suivante : ce sont des pièces, à axe courbe, symétriques par rapport à un plan qui renferme cet axe, et ayant des dimensions transversales petites par rapport à leur rayon de courbures, ces dimensions ne variant que lentement et avec continuité.



Soit A′A″L une portion d'une pareille pièce en équilibre, sous l'action de diverses forces F, dont la résultante soit située dans le plan qui contient l'axe, appelé *plan de flexion*. En raison de ces conditions, la partie de la pièce comprise entre deux plans normaux A′A″ et B′B″ quelconques, mais très-voisins l'un de l'autre, peut être sans erreur sensible assimilée à un prisme droit dont toutes les fibres auraient la même longueur. Les phénomènes de la flexion doivent donc s'opérer à son égard suivant les mêmes lois que pour un pareil prisme; d'où il résulte que la théorie de la résistance des arcs repose identiquement sur les mêmes lois d'élasticité, et mérite par conséquent la même confiance que la théorie de la résistance des pièces droites. Ces lois sont : d'une part, la proportionnalité des allongements et raccourcissements des fibres aux efforts qui les produisent; d'autre part, la situation dans un même plan, après la déformation, de toutes les molécules contenues primitivement dans une même section normale. Ainsi, les éléments contenus dans le plan B′B″ se trouvaient, avant la déformation produite par les forces F, dans

un même plan $b' b''$ parallèle à $A' A''$. Certaines fibres telles que $A b$, devenue $A B$, se sont donc raccourcies, et d'autres telles que la fibre $M n$, devenue $M N$, se sont allongées, tandis que la fibre $O o$, passant par l'intersection des plans $b' b''$, $B' B''$, et appelée *fibre neutre*, a conservé sa longueur.

En raison de ce qui précède, la relation qui fait connaître l'effort par unité de surface, auquel est soumise en un point quelconque une fibre d'un prisme droit, est applicable aux pièces que nous considérons.

Si donc on appelle :

R l'effort par unité de surface que supporte la fibre A B,

V la distance G A de cette fibre au centre de gravité G de la section $A' A''$,

μ la somme des moments autour du point G des forces extérieures F comprises entre le plan $B' B''$ et l'extrémité L,

N la somme des projections des forces F sur la tangente Gx, menée par le point G à la ligne contenant les centres de gravité de toutes les sections normales successives, ligne qu'on désigne sous le nom de *ligne moyenne*,

I le moment d'inertie autour du point G de la section $A' A''$,

Ω la surface de la même section,

on a

$$R = \frac{V\mu}{I} - \frac{N}{\Omega}.$$

Des deux lois d'élasticité énoncées plus haut, on déduit encore les trois relations suivantes, qui déterminent les variations de position d'un élément quelconque en fonction des forces qui sollicitent la pièce dont il fait partie, et complète ainsi, en permettant de déterminer la déformation produite par ces forces, la théorie de la résistance des arcs.

Soient :

ψ_0 le déplacement angulaire de la section passant par le point G_0 de la ligne moyenne par rapport à une section déterminée, prise pour origine,

ψ_1 le déplacement angulaire par rapport à la même origine d'une section passant par le point G_1,

ds la longueur d'un élément infiniment petit de la ligne moyenne, compris entre G_0 et G_1,

x_0, y_0 et x_1, y_1, les coordonnées des points G_0 et G_1 par rapport à des axes déterminés,

Δx_0, Δy_0 et Δx_1, Δy_1 les variations des coordonnées des points G_0 et G_1, résultant de la déformation,

E le coefficient d'élasticité de la matière qui compose la pièce,

τ un coefficient de dilatation linéaire proportionnel à la variation de la température,

On a :

(1) $$\psi_1 = \psi_0 + \int_{G_0}^{G_1} \frac{\mu ds}{EI},$$

(2) $$\Delta x_1 = \Delta x_0 - \psi_0 (y_1 - y_0) + \tau (x_1 - x_0) + \int_{G_0}^{G_1} \left\{ \frac{N dx}{E\Omega} - (y_1 - y) \frac{\mu ds}{EI} \right\},$$

(3) $$\Delta y_1 = \Delta y_0 + \psi_0 (x_1 - x_0) + \tau (y_1 - y_0) + \int_{G_0}^{G_1} \left\{ \frac{N dy}{E\Omega} + (x_1 - x) \frac{\mu ds}{EI} \right\}.$$

Ces relations vont nous servir de base dans le calcul des efforts auxquels sont soumises les diverses parties des arcs d'un *bow-string.*

Application des relations précédentes aux arcs d'un bow-string. — Le premier problème qui se présente consiste dans la détermination des valeurs des réactions inconnues que les arcs reçoivent de la part de leurs appuis, et des positions de leurs points d'application. Nous traiterons d'abord cette question dans le cas où la charge se trouve uniformément répartie suivant l'horizontale sur toute la longueur de la corde.

Détermination des forces inconnues dans le cas où la surcharge occupe la travée entière. — Faisons passer par le milieu O de la clef dans le plan de flexion deux axes rectangulaires Ox, Oy le premier parallèle à la corde de l'arc. A cause de la symétrie complète, tant du système que des forces qui le sollicitent, par rapport à l'axe Oy, nous pouvons étudier séparément l'équilibre d'un seul demi-arc. Les forces extérieures qui le sollicitent sont :

1° La charge verticale que le tirant lui transmet par l'intermédiaire des tympans; par suite de la nature de ces tympans et à cause du rapprochement des montants verticaux, on peut admettre sans erreur sensible que la charge verticale appliquée à l'arc, bien qu'elle ne soit pas continue, est uniformément répartie suivant l'horizontale;

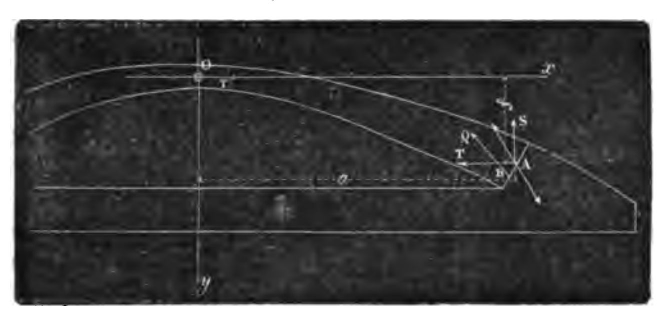
2° La réaction transmise au milieu O de la clef par la seconde moitié de l'arc, par l'intermédiaire des coins de serrage, et qui est nécessairement horizontale par suite de la symétrie complète de l'ensemble;

3° Les réactions transmises dans la section d'encastrement de l'arc avec le tirant, réactions qui ont une résultante unique située dans le plan de flexion.

Les deux dernières classes de forces sont inconnues *à priori*, et ce sont elles qu'il s'agit de déterminer. Soient :

A le centre de gravité de la section d'encastrement du demi-arc que nous considérons,

B le point d'application de la résultante des réactions que l'arc reçoit dans la section d'encastrement,



Q l'intensité de cette résultante,
T sa composante horizontale,
S sa composante verticale,
T' la réaction horizontale appliquée en O,
p la charge verticale uniformément répartie par mètre courant,
a la distance du point A à l'axe Oy,
f la distance du même point à l'axe Ox.

Par le point A faisons passer deux forces opposées, égales en grandeur et en direction à la réaction Q. Il est évident que rien ne sera changé en ce qui concerne la stabilité de l'arc. On pourra donc remplacer la force Q, appliquée au point B, par une force égale, parallèle et dirigée dans le même sens, appliquée au point A, et par un couple ayant pour moment celui de la force Q par rapport au même point A. On comprendra l'utilité de cette substitution si l'on se rappelle que le moment d'un couple est constant par rapport à tout point situé dans son plan et que la projection sur un axe quelconque des forces qui le composent est égale à zéro. Il en résulte que si nous plaçons au nombre des inconnues auxiliaires le moment du couple proposé, que nous appellerons M, chaque inconnue n'entrera qu'à la première puissance dans les équations d'équilibre, tandis que si les coordonnées des points d'application des réactions des appuis figuraient directement parmi les inconnues, les moments de ces réactions élèveraient évidemment au second degré les équations dans lesquelles ils entreraient, ce qui compliquerait les calculs.

Equation d'équilibre. — Toutes les forces qui agissent sur le demi-arc que nous considérons étant situées par hypothèse dans un même plan vertical, les équations qui expriment analytiquement l'équilibre de ces forces se réduisent aux trois suivantes :

(A) $T - T' = o$, (B) $S - pa = o$, (C) $M + Tf - SA + \frac{1}{2} pa^2 = o$.

Les inconnues étant au nombre de quatre, il est nécessaire de trouver encore une relation pour rendre le problème complétement déterminé.

La combinaison des formules (1) et (2) va nous la fournir. En effet, à cause de la symétrie complète autour de la ligne Oy, il est évident que le point O ne peut se déplacer que suivant cette ligne même et que l'élément supérieur de l'arc n'est pas dévié par suite de la flexion. D'autre part, l'encastrement de l'arc et du tirant, qui rend fixe comme on l'a vu la direction du premier élément de l'arc, ne permet à cet élément que de se déplacer horizontalement et parallèlement à lui-même par l'effet des variations de longueur du tirant. Tout mouvement dans le sens vertical est impossible puisque les extrémités du tirant reposent sur des appuis fixes. Il résulte de cette double remarque que l'angle de la section à la clef et de la section d'encastrement est invariable, et qu'en second lieu, la projection horizontale de l'allongement du demi-arc O A est précisément égale à la moitié de l'allongement du tirant.

Équation d'élasticité. — Conservant les notations employées dans les formules (1), (2) et (3), appelant Ω' la section du tirant qui est constante, et observant que la tension de ce dernier étant égale à T, son allongement total, du fait de la tension T et abstraction faite de la dilatation produite par un changement de température, est représenté par l'expression

$$\frac{2\,\mathrm{T}a}{\mathrm{E}\Omega'},$$

la formule (2) nous donne en conséquence de ce qui précède

$$\int_0^a \frac{\mathrm{N}dx}{\mathrm{E}\Omega} - f\int_0^a \frac{\mu ds}{\mathrm{EI}} + \int_0^a \frac{\mu y ds}{\mathrm{EI}} = \frac{\mathrm{T}a}{\mathrm{E}\Omega'}.$$

Mais, d'après la formule (1), nous avons :

$$\int_0^a \frac{\mu ds}{\mathrm{EI}} = 0.$$

Il vient donc en ajoutant cette dernière équation à la précédente après l'avoir multipliée par f, et multipliant le résultat par E, quantité constante,

$$\text{(D)} \qquad \int_0^a \frac{\mathrm{N}dx}{\Omega} + \int_0^a \frac{\mu y ds}{\mathrm{I}} = \frac{\mathrm{T}a}{\Omega'},$$

équation qui complète le système des quatre relations par lesquelles les forces inconnues se trouvent déterminées.

Inaction des variations de température sur les réactions mutuelles de l'arc et du tirant. — On remarquera que l'on n'a pas tenu compte du terme relatif à la température dans l'application de la formule (2).

Cela tient à ce que l'allongement horizontal provenant de la dilatation est évidemment le même pour l'arc et pour le tirant et qu'ainsi, en négligeant cet allongement, on n'a fait que supprimer un terme qui entre

à la fois dans les deux membres. Il se trouve démontré par là que dans un système pareil à celui dont il s'agit, c'est-à-dire composé d'un arc relié par sa corde, les variations de température sont sans influence sur la valeur des réactions, ce qui n'a pas lieu pour un arc dont les extrémités sont invariables dans tous les sens. On peut d'ailleurs en fournir une démonstration directe. Supposons, en effet, qu'après une variation de température l'arc se trouve tout à coup détaché du tirant, chacune de ces pièces subira aussitôt une diminution de longueur correspondante à la tension à laquelle elle se trouvait soumise auparavant. Mais elle ne reviendra pas aux dimensions qu'elle avait avant que la température n'eût été modifiée. Chaque dimension restera affectée d'une augmentation ou d'une diminution suivant le sens de la variation de température; ce qui montre clairement que les allongements ou rétrécissements provenant de ce fait sont tout à fait indépendants de la liaison des deux pièces et ne peuvent exercer aucune influence sur les réactions qu'elles se transmettent, puisqu'ils ont toute liberté pour s'effectuer.

Si l'on remplace dans l'équation (D) les quantités N et μ par leurs valeurs en fonction des données de la question, si l'on remarque en outre qu'une force horizontale F_x, projetée sur la tangente à la fibre moyenne en un point dont les coordonnées sont x et y, a pour valeur $F x \frac{dx}{ds}$, et que la projection d'une force verticale F_y sur la tangente au même point a pour valeur $F_y \frac{dy}{ds}$, on obtient en ordonnant l'équation par rapport aux inconnues M, T et S,

$$(D_1)\left[\begin{array}{l} M\int_0^a \frac{1}{I} y\,ds + T\left\{\int_0^a \frac{1}{I}(f-y)\,y\,ds - \int_0^a \frac{1}{\Omega}\frac{dx}{ds}dx - \frac{a}{\Omega'}\right\} \\ -S\left\{\int_0^a \frac{1}{I}(a-x)\,y\,ds + \int_0^a \frac{1}{\Omega}\frac{dy}{ds}dx\right\} + p\left\{\frac{1}{2}\int_0^a \frac{1}{I}(a-x)^2 y\,ds + \int_0^a \frac{1}{\Omega}(a-x)\frac{dy}{ds}dx\right\} 0 \end{array}\right].$$

Maintenant, la substitution dans les équations (C) et (D_1) de la valeur de S tirée de l'équation (B), nous donne

$$M = \frac{1}{2}pa^2 - Tf,$$

$$\left[\begin{array}{l} M\int_0^a \frac{1}{I} y\,ds + T\left\{\int_0^a \frac{1}{I}(f-y)\,y\,ds - \int_0^a \frac{1}{\Omega}\frac{dx}{ds}dx - \frac{a}{\Omega'}\right\} \\ \qquad \left\{\frac{1}{2}\int_0^a \frac{1}{I}(a^2-x^2)\,y\,ds + \int_0^a \frac{1}{\Omega}x\frac{dy}{ds}dx\right\} \end{array}\right].$$

Éliminant M entre ces deux dernières équations, il vient finalement :

$$T\left\{\int_0^a \frac{1}{I}y^2 ds + \int_0^a \frac{1}{\Omega}\frac{dx}{ds}dx + \frac{a}{\Omega'}\right\} = p\left\{\frac{1}{2}\int_0^a \frac{1}{I}x^2 y\,ds - \int_0^a \frac{1}{\Omega}x\frac{dy}{ds}dx\right\};$$

d'où l'on tire :

Valeur de la réaction horizontale.

$$T = p\,\frac{\frac{1}{2}\int_0^a \frac{1}{I}\,x^2 y\,ds - \int_0^a \frac{1}{\Omega}\,x\,\frac{dy}{ds}\,dx}{\int_0^a \frac{1}{I}\,y^2\,ds + \int_0^a \frac{1}{\Omega}\,\frac{dx}{ds}\,dx + \frac{a}{\Omega'}}.$$

Les valeurs de toutes les inconnues se trouvent ainsi déterminées explicitement.

Nature de la ligne moyenne. — Pour rendre applicable la formule qui donne la valeur de T, il est nécessaire de fixer la nature de la ligne moyenne afin de déterminer les fonctions y, ds, dx, dy, en fonction de l'abscisse x par exemple.

Nous avons adopté pour ligne moyenne l'arc de cercle qui passe par les points milieux des naissances et de la clef, et qui a par conséquent a^2 pour corde et f pour flèche. Cette ligne diffère peu de la parabole, qui est la courbe d'équilibre dans le cas où la surcharge occupe toute l'étendue de la corde; elle offre l'avantage de conduire à des calculs fort simples et enfin se trace avec une grande facilité sur les gabaris qui servent à la construction des arcs.

La position de la surcharge étant variable, l'emploi de la parabole d'équilibre ne présente d'ailleurs aucune importance. Quant à rechercher la courbe qui, adoptée pour fibre moyenne, réduirait le travail du métal exactement à son minimum, en tenant compte de toutes les positions de la surcharge, ce serait se lancer dans des calculs inexécutables par leur complication et qui n'auraient d'ailleurs aucune utilité pratique.

Expression des quantités linéaires par les fonctions angulaires équivalentes. — Si nous appelons :

r le rayon de l'arc de cercle qui forme la ligne moyenne,

φ l'angle que fait le rayon des naissances avec l'axe Oy,

α l'angle que fait avec le même axe le rayon passant par le point de la ligne moyenne dont les coordonnées sont x et y,

nous obtenons la série de relations suivante :

$$a = r\sin\varphi,\quad x = r\sin\alpha,\quad y = r(1-\cos\alpha),\quad s = r\alpha,$$
$$dx = r\cos\alpha\,d\alpha,\quad dy = r\sin\alpha\,d\alpha,\quad ds = r\,d\alpha,$$
$$\frac{dx}{ds} = \cos\alpha,\quad \frac{dy}{ds} = \sin\alpha.$$

Substituant ces valeurs dans celle de T, il vient

$$T = pr\,\frac{\frac{1}{2}r^2\int_0^\varphi \frac{1}{I}(1-\cos\alpha)\sin^2\alpha\,d\alpha - \int_0^\varphi \frac{1}{\Omega}\sin^2\alpha\cos\alpha\,d\alpha}{r^2\int_0^\varphi \frac{I}{1}(1-\cos\alpha)^2\,d\alpha + \int_0^\varphi \frac{1}{\Omega}\cos^2 d\alpha + \frac{1}{\Omega}\sin\varphi}.$$

Substitution de valeurs constantes aux valeurs variables des quantités I *et* Ω. — Si l'on connaissait d'avance pour chaque section normale de l'arc les valeurs de I et Ω, les intégrales définies qui entrent dans la formule précédente seraient immédiatement calculables. Mais, au contraire, la détermination pour chaque section des quantités Ω et I dépend précisément de la connaissance de toutes les forces extérieures qui sollicitent le système. Car si l'on voulait combiner *à priori* avec les relations précédentes celles qui donnent Ω et I en fonction de ces forces, on se trouverait arrêté par des difficultés d'analyse impossibles à lever en pratique. En conséquence nous avons eu recours à la méthode employée dans le calcul des poutres droites à plusieurs travées, c'est-à-dire que nous avons supposé d'abord Ω et I constants dans toute l'étendue de l'arc et que nous avons déterminé à l'aide d'une hypothèse préalable sur les valeurs de ces quantités des valeurs approximatives de T et M qui, une fois obtenues, nous ont servi à calculer les éléments des diverses sections normales. Une fois ces éléments déterminés, nous avons pu calculer avec une exactitude très-suffisante les réactions inconnues en prenant pour Ω et I les moyennes des valeurs de ces quantités dans la section à la clef et dans celle des naissances, ce qui revient toujours à les considérer comme des constantes dans le calcul des intégrales où elles sont contenues. Nous sommes partis alors de ces nouvelles valeurs des réactions, qui ne peuvent différer des valeurs réelles que d'une quantité tout à fait insignifiante dans les applications, pour déterminer les valeurs des diverses sections normales.

Calcul des intégrales définies qui entrent dans la valeur de T. — Voici le détail du calcul des intégrales définies qui entrent dans la valeur de T, intégrales qui, d'après la remarque précédente, ne renferment plus les quantités Ω et I qu'en qualité de coefficients constants.

Calcul de l'intégrale $\int_0^\varphi \frac{1}{I}(1-\cos\alpha)\sin^2\alpha\, d\alpha$.

Cette intégrale se décompose dans les deux suivantes :

$$\frac{1}{I}\int_0^\varphi \sin^2\alpha\, d\alpha, \qquad -\frac{1}{I}\int_0^\varphi \cos\alpha \sin^2\alpha\, d\alpha.$$

En faisant $\sin\alpha = z$, d'où l'on déduit

$$\cos\alpha\, d\alpha = dz \quad \text{et} \quad d\alpha = \frac{dz}{\cos\alpha} = \frac{dz}{\sqrt{1-z^2}},$$

la première partie peut être mise sous la forme

$$\frac{1}{I}\int_0^\varphi \frac{z^2\, dz}{\sqrt{1-z^2}}.$$

Employant la méthode d'intégration par parties, on obtient

$$\int \frac{z^2\, dz}{\sqrt{1-z^2}} = -z\sqrt{1-z^2} + \int \sqrt{1-z^2}\, dz = -z\sqrt{1-z^2} + \int \frac{dz}{\sqrt{1-z^2}} - \int \frac{z^2 dz}{\sqrt{1-z^2}},$$

d'où l'on tire

$$\frac{1}{I}\int\frac{z^2 dz}{\sqrt{1-z^2}}=\frac{1}{I}\left(-\frac{1}{2}z\sqrt{1-z^2}+\frac{1}{2}\text{ arc sin } z+C\right);$$

et en substituant à z sa valeur sin α, puis prenant l'intégrale entre les limites φ et o,

$$\frac{1}{I}\int_0^\varphi \sin^2\alpha\, d\alpha=\frac{1}{2}\frac{1}{I}(\varphi-\sin\varphi\cos\varphi).$$

Quant à l'intégrale $-\frac{1}{I}\int_0^\varphi \cos\alpha \sin d\alpha$, si l'on remarque que l'expression cos $\alpha\, d\alpha$ est précisément la différentielle de sin α, on obtient immédiatement

$$-\frac{1}{I}\int_0^\varphi \cos\alpha\sin^2\alpha\, d\alpha=-\frac{1}{3}\frac{1}{I}\sin^3\varphi.$$

On a donc, en définitive,

$$\int_0^\varphi \frac{1}{I}(1\cos\alpha)\sin^2\alpha\, d\alpha=\frac{1}{I}\left\{\frac{1}{2}(\varphi-\sin\varphi\cos\varphi)-\frac{1}{3}\sin^3\varphi\right\}.$$

Calcul de l'intégrale $\int_0^\varphi \frac{1}{\Omega}\sin^2\alpha\cos\alpha\, d\alpha$.

Le facteur $\frac{1}{\Omega}$ sortant de l'intégrale, elle se trouve comprise dans la précédente et l'on a

$$\int^\varphi \frac{1}{\Omega}\sin^2\alpha\cos\alpha\, d\alpha=\frac{1}{3}\frac{1}{\Omega}\sin^3\varphi.$$

Calcul de l'intégrale $\int^\varphi \frac{1}{I}(1-\cos\alpha)^2 d\alpha$.

Cette intégrale se décompose de la manière suivante :

$$\frac{1}{I}\int_0^\varphi d\alpha \quad \text{qui a pour valeur} \quad \frac{1}{I}\varphi,$$

$$-\frac{1}{I}2\int_0^\varphi \cos\alpha\, d\alpha \quad \text{qui a pour valeur} -2\frac{1}{I}\sin\varphi,$$

et enfin

$$\frac{1}{I}\int_0^\varphi \cos^2\alpha\, d\alpha.$$

Remarquons que $\int_0^\varphi \cos^2\alpha\, d\alpha$ peut s'écrire $\int_0^\varphi (1-\sin^2\alpha)\, d\alpha$, qui se décompose en $\int_0^\varphi d\alpha$ dont la valeur est φ, et $-\int_0^\varphi \sin^2\alpha\, d\alpha$ qui a pour valeur, comme on l'a vu plus haut, $-\frac{1}{2}(\varphi-\sin\varphi\cos\varphi)$. Il vient donc, en définitive,

$$\int_0^\varphi \frac{1}{I}(1-\cos^2\alpha)\,d\alpha = \frac{1}{I}\left(\frac{3}{2}\varphi - 2\sin.\varphi + \frac{1}{2}\sin\varphi\cos\varphi\right).$$

Calcul de l'intégrale $\int_0^\varphi \frac{1}{\Omega}\cos^2\alpha\,d\alpha$.

Cette intégrale rentre directement dans celle que nous venons de calculer, et nous avons :

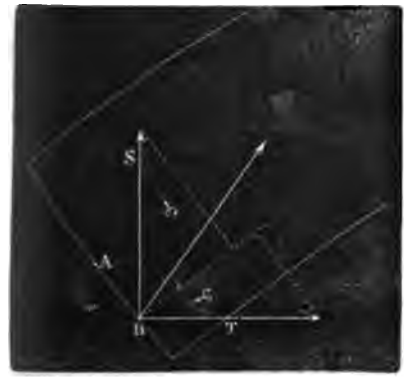
$$\int_0^\varphi \frac{1}{\Omega}\cos^2\alpha\,d\alpha = \frac{1}{2}\,\frac{1}{\Omega}(\varphi + \sin\varphi\cos\varphi).$$

Introduisant les expressions que nous venons de déterminer dans la valeur de T obtenue précédemment, il vient, toutes réductions faites,

Valeur finale de T.

$$T = 2pa.\frac{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}\,\frac{\varphi}{\sin\varphi} - \frac{1}{2}\cos\varphi - \frac{1}{3}\sin^2\varphi\right) - \frac{I}{\Omega}\,\frac{1}{r^2}\,\frac{1}{3}\sin^2\varphi}{3\varphi - 4\sin\varphi + \sin\varphi\cos\varphi + \frac{I}{\Omega}\,\frac{1}{r^2}(\varphi + \sin\varphi\cos\varphi) + \frac{I}{\Omega'}\,\frac{1}{r^2}\,2\sin\varphi}.$$

Détermination du centre des pressions dans la section des naissances. — Une fois que l'on connait les valeurs de S, T et M, il est aisé de déterminer la position du centre des pressions B dans la section des naissances. En effet, soit z la distance de ce point au centre de gravité A de la section, on a



$$M = (T\cos\varphi + S\sin\varphi)\,z;$$

d'où

$$z = \frac{M}{T\cos\varphi + S\sin\varphi}.$$

Connaissant en intensité et en direction toutes les réactions extérieures qui sollicitent chaque demi-arc, ainsi que leurs points d'application, on peut obtenir, en les combinant d'après les principes les plus simples de la statique, les valeurs et les positions des efforts qui agissent dans chaque section. Nous allons déterminer, d'après ces principes, l'équation de la courbe des pressions.

Équation de la courbe des pressions. — Conservons les axes auxquels nous avons déjà rapporté les forces qui agissent sur l'arc, et dont l'origine, se trouvant au point de passage de la ligne moyenne dans la section à la clef, appartient nécessairement à la courbe cherchée.

Soit A un point quelconque de cette courbe ayant pour coordonnées x et y. La tangente en A rencontre l'axe Ox, qui coïncide avec la direction de la réaction horizontale appliquée en O, en un point B qui est le milieu de OC, puisqu'en ce point est appliquée l'action de la pensanteur; et les trois côtés du triangle ABC sont proportionnels à la résultante des pressions appliquée en A, à la réaction horizontale T appliquée en O et à la force verticale px. On a donc



$$\frac{y}{\frac{1}{2}x}=\frac{px}{T},$$

d'où l'on tire

$$y=\frac{1}{2}\frac{p}{T}x^2,$$

équation de la courbe des pressions qui, comme on pouvait s'y attendre, est une parabole ayant son sommet au point O. Prenant la dérivée de cette équation, on obtient la valeur de l'inclinaison i sur l'horizontale de la tangente au point A, inclinaison qui a pour expression $\frac{p}{T}x$. Quant à la réaction au point A, elle a pour valeur $\sqrt{T^2+p^2x^2}$. En la projetant sur la tangente à la ligne moyenne dans la section à laquelle appartient le point A, on a la réaction normale N correspondante à cette section. En la projetant dans le sens perpendiculaire, on a l'effort tranchant F relatif à la même section. La tangente de l'inclinaison sur l'horizontale de l'élément de la ligne moyenne qui passe par le point dont l'abscisse est x ayant pour expression $\frac{x}{\sqrt{r^2-x^2}}$, on en déduit aisément que la réaction normale N et l'effort tranchant F sont donnés par les formules :

Valeurs de la réaction normale, de l'effort tranchant et du moment fléchissant pour une section quelconque.

$$N=T\frac{\sqrt{r^2-x^2}+px^2}{r},$$

$$F=\frac{Tx-px\sqrt{r^2-x^2}}{r}.$$

Enfin le produit de la réaction normale par la distance du centre des tensions au centre de gravité de la section en constitue le moment fléchissant μ. Cette distance étant égale à $\left\{\sqrt{x^2+(r-y)^2}-r\right\}$, expression dans laquelle x et y sont les coordonnées du point considéré de la courbe des pressions, on a

$$\mu=N\left(\sqrt{x^2+(r-y)^2}-r\right).$$

Il ne nous reste plus qu'à faire voir comment, à l'aide de ces éléments, on peut calculer le coefficient de travail du métal.

Calcul du coefficient de travail du métal dans une section quelconque. — Nous avons vu que pour un point situé à une distance v du centre de gravité on a

$$R = \frac{v\mu}{I} - \frac{N}{\Omega}.$$

Le moment μ est positif quand le sens de la rotation qu'il tend à produire va de la branche positive de l'axe des x vers la branche positive de l'axe des y. La force N est positive quand elle agit dans le sens des x positifs; et la distance v est positive quand elle est comptée dans le sens des y positifs, c'est-à-dire quand le point dont il s'agit est situé au-dessous du centre de gravité de la section à laquelle il appartient. Il en résulte que le produit $v\mu$ est toujours de signe contraire à celui de N dans la moitié de la section où est situé le centre des tensions; de sorte que le maximum R′ de la réaction normale par unité de surface est appliqué au point de cette région le plus éloigné du centre de gravité, et qu'en appelant v' la distance des deux points, on a en grandeur absolue

$$R' = \frac{v'\mu}{I} + \frac{N}{\Omega}.$$

Le signe de N indique si la réaction est une tension ou une pression. On peut donc déterminer dans chaque section le travail de la fibre la plus fatiguée, et ainsi le problème que nous nous étions proposé se trouve complétement résolu.

Hypothèses qu'il convient de faire sur la position de la surcharge. — L'étude de la stabilité d'un arc de pont, destiné à livrer passage à un chemin de fer, n'est pas complète quand on a déterminé les efforts qui sollicitent les diverses sections dans le cas d'une charge uniformément répartie sur toute la longueur de la travée. Si l'on considère en effet, pendant la variation des positions de la surcharge, une quelconque des sections de l'arc, il est clair que cette section se trouvera successivement dans une série de conditions d'équilibre très-différentes. Le problème, envisagé dans toute son étendue, consiste donc à rechercher quel est, eu égard aux diverses positions que peut prendre la surcharge, l'effort maximum qu'aura à supporter chacune des sections de l'arc. Mais il n'est pas utile de résoudre cette question d'une façon tout à fait générale. Il suffit toujours de considérer un petit nombre de positions particulières de la charge mobile, et même lorsqu'il s'agit d'arcs d'une ouverture un peu considérable comme ceux dont nous nous occupons ici, le seul cas qu'il soit nécessaire de considérer est celui où la surcharge variable de position occupe une demi-travée. C'est alors, en effet, que se produit la plus grande

inclinaison de la tangente à la courbe des pressions à la clef, inclinaison qui détermine les déplacements d'efforts susceptibles d'augmenter la fatigue de certains points. On va voir que dans ce cas les valeurs des réactions extérieures peuvent se déduire très-simplement de celles qui correspondent au cas où la surcharge est uniformément répartie sur la travée entière.

Calcul des forces inconnues dans le cas où la surcharge n'occupe qu'une demi-travée. — Les axes des coordonnées étant toujours définis comme précédemment, soient : T et S les composantes horizontale et verticale de la réaction, qui, dans le cas où la surcharge est uniformément répartie sur toute la travée, est transmise à l'arc dans l'une des sections d'encastrement, M le couple correspondant, c'est-à-dire le moment de cette réaction par rapport au centre de gravité de la section d'encastrement. Soient, d'autre part, T_1, S_1, M_1, les mêmes quantités dans le cas où la surcharge n'occupe que la demi-travée contiguë à la section considérée, et T_2, S_2, M_2, les valeurs qu'elles affectent dans le même cas pour l'autre section d'encastrement qui est symétrique avec la première. Soient enfin T', S', M', les valeurs des quantités précédentes, quand la charge se réduit au poids mort, la surcharge étant nulle.

Imaginons qu'on rende symétrique le système de forces auxquelles correspondent les réactions S_1, T_1, S_2, T_2, et les moments M_1, M_2, en doublant par des forces symétriques celles qui en sont dépourvues, on passe alors au système (S, T, M). De même, si au lieu de doubler toute force dépourvue de sa symétrique, on la supprime complétement, on obtient le système (S', T', M'). Lorsque l'on passe du troisième système au second, les quantités S', T', M', qui correspondent à la section d'encastrement contiguë à la demi-travée qui reçoit la surcharge, et les quantités S', $-T'$, $-M'$, qui correspondent à l'autre section d'encastrement, deviennent respectivement S_1, T_1, M_1, et S_2, T_2, M_2.

Or, si l'on remarque qu'il résulte de l'examen des équations tant d'équilibre que d'élasticité, qui nous ont servi à déterminer les réactions inconnues, que les composantes de ces réactions suivant deux directions perpendiculaires et leurs moments par rapport à des points déterminés sont des fonctions linéaires, sans terme constant, des forces faisant partie des données, on en conclut que les mêmes composantes et moments peuvent se déterminer en faisant la somme des valeurs qu'on obtiendrait si l'on conservait successivement une seule des causes qui les produisent, toutes les autres étant supprimées.

Il résulte de là que si les forces dépourvues de leurs symétriques agissaient seules, les réactions des sections d'encastrement et les moments correspondants auraient respectivement pour valeurs les différences

$$S_1 - S', \quad T_1 - T', M_1 - M', \quad S_2 - S', \quad T_2 + T', M_2 + M'.$$

Au lieu des forces auxquelles correspondent ces quantités, si l'on fait agir un groupe symétrique, c'est-à-dire celui qu'il faudrait introduire pour passer du second système au premier, les réactions et moments, correspondants à la première section d'encastrement, deviennent

$$S - S_1, \quad T - T_1, \quad M - M_1,$$

valeurs qui sont nécessairement les symétriques des différences

$$S_2 - S', \quad T_2 + T', \quad M_2 + M',$$

correspondantes à la seconde section d'encastrement dans le cas précédent.

On a donc les relations;

$$S - S_1 = S_2 - S',$$
$$T - T_1 = - T_2 - T',$$
$$M - M_1 = - M_2 - M';$$

d'où l'on tire :

$$(A') \qquad S + S' = S_1 + S_2,$$
$$(B') \qquad T + T' = T_1 - T_2,$$
$$(C') \qquad M + M' = M_1 - M_2.$$

A ces trois équations on peut joindre les trois suivantes qui achèvent de déterminer les réactions inconnues :

$$(A'') \qquad T_1 = - T_2,$$
$$(B'') \qquad M_1 + T_1 f - S_1 a + \tfrac{1}{2} pa^2 = o,$$
$$(C'') \qquad \frac{M_1}{M_2} = \frac{S_1 \sin \varphi \; T_1 + \cos \varphi}{- S_2 \sin \varphi + T_2 \cos \varphi}.$$

La dernière équation résulte de ce que, les composantes horizontales des réactions exercées dans les deux sections d'encastrement devant être dans le prolongement l'une de l'autre, ces réactions sont nécessairement appliquées en des points symétriques, et par suite leurs moments sont proportionnels à leurs projections sur des perpendiculaires aux sections d'encastrement.

Si l'on remplace, dans l'équation (C''), M_2 et S_2 par leurs valeurs en fonction de M_1 et S_1, tirées des équations (A') et (C'), on obtient

$$\frac{M_1}{M_1 - (M + M')} = \frac{S_1 \sin_2 \varphi + \frac{T + T'}{2} \cos \varphi}{\left\{ S_1 - (S + S') \right\} \sin \varphi - \frac{T + T'}{2} \cos \varphi};$$

d'où l'on déduit, en faisant évanouir les dénominateurs,

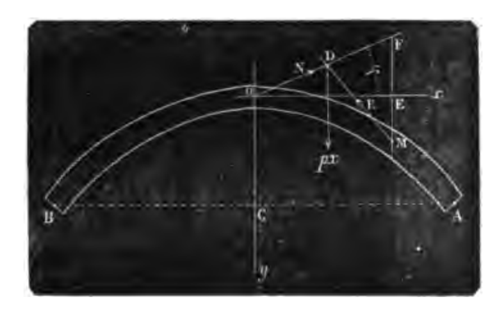
$$M_1 \left\{ (S + S') \sin \varphi + (T + T') \cos \varphi \right\} - S_1 (M + M') \sin \varphi = (M + M') \frac{T + T'}{2} \cos \varphi.$$

De cette équation, combinée avec l'équation (B″), on tire la valeur de S_1, qui est

$$S_1 = \frac{\left(\frac{T+T'}{2} f + \frac{1}{2} p a^2\right) \left\{ (S+S') \sin\varphi + (T+T') \cos\varphi \right\} + (M+M') \frac{T+T'}{2} \cos.\varphi}{a \left\{ (S+S') \sin\varphi + (T+T') \cos\varphi \right\} - (M+M') \sin\varphi}.$$

Connaissant la valeur de S_1, on obtiendra facilement les valeurs des inconnues S_2, M_1 et M_2. Toutes les forces extérieures étant ainsi déterminées en grandeur et en direction, on calculera l'effort qui agit dans chaque section sur la fibre la plus fatiguée, comme dans l'hypothèse d'une surcharge uniformément répartie sur la travée entière.

Équations des courbes des pressions dans le cas où la surcharge n'occupe qu'une demi-travée. — La courbe des pressions, dans le cas que nous



venons de traiter, se compose de deux arcs, appartenant à des paraboles différentes, qui se raccordent au milieu de la clef. Les équations de ces arcs s'obtiennent aisément au moyen de la méthode déjà employée plus haut.

Supposons que la surcharge porte sur la demi-travée A C, p étant le poids total uniformément réparti par mètre courant sur cette longueur, et p' le poids mort uniformément réparti sur l'autre demi-travée B C. La réaction N, exercée par une moitié de l'arc sur l'autre, passe toujours par le point O, milieu de la clef, en vertu du mode de construction employé; mais cette réaction n'est plus horizontale, et sa direction fait un certain angle α avec l'axe Ox. Considérons un point quelconque M, appartenant à la courbe des pressions du demi-arc O A, et dont les coordonnées soient x et y. En ce point est appliquée la résultante R des efforts qui sollicitent la section à laquelle il appartient, et la partie O M de l'arc est en équilibre sous l'action des forces N, R et $p\,x$, dont les directions se coupent au point D, situé sur la verticale qui divise également la distance horizontale O E, et dont les intensités sont proportionnelles aux côtés du triangle M D F.

On a donc

$$\frac{MF}{FD} = \frac{px}{N}.$$

Or,

$$MF = EM + EF = y + x tg\alpha \quad \text{et} \quad FD = \frac{1}{2}\frac{x}{\cos\alpha}.$$

Substituant ces valeurs dans la proportion précédente, on trouve pour l'équation de la courbe des pressions de la partie O A.

$$(1) \qquad y = \frac{px^2}{2N\cos\alpha} - x\,tg\,\alpha.$$

On trouverait de même pour la partie O B.

$$(2) \qquad y = \frac{p'x^2}{2N\cos\alpha} - x\,tg\,\alpha.$$

Dans chacune de ces équations on a en même temps $x = o$ et $y = o$. Si l'on prend leurs dérivées et si l'on y fait $x = o$, on obtient de part et d'autre

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x_0} = tg\,\alpha.$$

Ainsi la courbe des pressions, dans le cas que nous venons de traiter, se compose de deux arcs, appartenant à des paraboles différentes, qui se raccordent tangentiellement au point O, et dont les axes sont verticaux.

Quant aux valeurs de N et de α, elles sont données par les relations

$$N\cos\alpha = T_1 = -T_2,$$

$$tg\,\alpha = \frac{pa - S_1}{T_1} = \frac{p'a - S_2}{T_2}.$$

Calcul de la stabilité d'un arc continu. — Nous allons faire voir maintenant quelles modifications on devrait faire subir aux formules que nous avons établies, dans le cas où l'arc entier serait continu et d'une seule pièce, auquel cas le point de passage de la courbe des pressions au sommet redeviendrait une des inconnues de la question.

1° *Cas où la surcharge est répartie sur toute la travée.* — Supposons d'abord la surcharge uniformément répartie sur la travée entière. Les équations de projection (A) et (B) subsistent évidemment, et nous pouvons encore écrire

$$(A)\ T - T = o, \qquad (B)\ S - pa = o.$$

Mais l'équation (C), dans laquelle entrent les moments, ne peut plus être conservée sous la même forme. En effet, les moments ont été pris

dans cette relation, par rapport au point milieu de la clef, qui appartenait à la courbe des pressions. Or, cette condition n'étant plus remplie dans le cas actuel, si nous prenions toujours le milieu de la clef pour axe des moments, nous devrions introduire une nouvelle inconnue qui serait le moment de la réaction à la clef par rapport à ce point. Il conviendrait donc, pour éviter cette inconnue nouvelle, de prendre tous les moments par rapport au centre de gravité d'une des sections aux naissances, toutes les réactions et leurs moments étant symétriques sur les deux culées. Mais, dans ce nouveau système, l'équation des moments se confond avec l'équation (B) qui exprime que la somme des forces verticales est nulle; car les moments des réactions exercées sur les sections aux naissances étant égaux et de signes contraires, leur somme se réduit à zéro. Nous remplacerons en conséquence cette équation par l'équation d'élasticité qui exprime que l'angle d'un des rayons extrêmes et de l'axe des y est invariable, ce qui donne

$$(C_1) \quad \left\{ M\int_0^a ds + T\int_0^a (f-y)\,ds - S\int_0^a (a-x)\,ds + \tfrac{1}{2}p\int_0^a (a-x)^2 ds = 0 \right\}.$$

Enfin l'équation (D) devient, en faisant sortir des intégrales les quantités I et Ω qui, ainsi qu'on l'a vu, doivent être considérées comme des constantes

$$\left[\begin{array}{l} \frac{1}{I}\left\{ M\int_0^a y\,ds + T\int_0^a (f-y)y\,ds - S\int_0^a (a-x)y\,ds + \frac{1}{2}p\int_0^a (a-x)^2 y\,ds \right\} \\ \quad - \frac{1}{\Omega}\left\{ T\int_0^a \frac{dx}{ds}dx + S\int_0^a \frac{dy}{ds}dx - p\int_0^a (a-x)\frac{dy}{ds}dx \right\} - \frac{Ta}{\Omega'} = 0 \end{array}\right]$$

Si nous remplaçons S dans les équations (C_1) et (D_1) par sa valeur tirée de l'équation (B), nous obtenons toutes réductions faites

$$M\int_0^a ds + T\int_0^a (f-y)\,ds - \tfrac{1}{2}p\int_0^a (a^2-x^2)\,ds = 0,$$

$$\left[\begin{array}{l} M\frac{1}{I}\int_0^a y\,ds + T\left\{\frac{1}{I}\int_0^a (f-y)y\,ds - \frac{1}{\Omega}\int_0^a \frac{dx}{ds}dx - \frac{a}{\Omega'}\right\} \\ \quad - p\left\{\frac{1}{2I}\int_0^a (a^2-x^2)\,y\,ds + \frac{1}{\Omega}\int_0^a x\,\frac{dy}{ds}dx\right\} = 0 \end{array}\right]$$

Substituant maintenant dans ces deux équations aux fonctions linéaires les fonctions angulaires qui leur sont égales, il vient

$$Mr\int_0^\varphi d\alpha + Tr^2\int_0^\varphi (\cos\alpha - \cos\varphi)\,d\alpha - \tfrac{1}{2}pr^3\int_0^\varphi (\sin^2\varphi - \sin^2\alpha)\,d\alpha = 0,$$

$$M r \frac{1}{I} \int_0^\varphi (1 - \cos\alpha)\, d\alpha + T \left\{ \frac{1}{I} r^3 \int_0^\varphi (\cos\alpha - \cos\varphi)(1 - \cos\alpha)\, d\alpha - \frac{1}{\Omega} \int_0^\varphi \cos^2\alpha\, d\alpha - \frac{2}{\Omega'} \sin\varphi \right.$$

$$\left. - p \left\{ \frac{1}{2 I} r^3 \int_0^\varphi (\sin^2\varphi - \sin^2\alpha)(1 - \cos\alpha)\, d\alpha + \frac{1}{\Omega} r \int_0^\varphi \sin^2\alpha \cos\alpha\, d\alpha \right\} = o; \right.$$

et en effectuant les intégrations

$$M\varphi + T r\, (\sin\varphi - \varphi\cos\varphi) - \tfrac{1}{2} p r^2\, (\varphi \sin^2\varphi + \tfrac{1}{2} \sin\varphi\cos\varphi - \tfrac{1}{2}\varphi) = o,$$

$$M r \frac{1}{I} (\varphi - \sin\varphi) + T \left\{ \frac{1}{I} r^3 (\sin\varphi + \frac{1}{2} \sin\varphi\cos\varphi - \frac{1}{2}\varphi - \varphi\cos\varphi) - \frac{1}{\Omega}(\varphi + \sin\varphi\cos\varphi) - \frac{2}{\Omega'} \sin\varphi \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2} p \left\{ \frac{1}{I} r^3 (\varphi \sin^2\varphi + \frac{1}{2} \sin\varphi\cos\varphi - \frac{1}{2}\varphi - \frac{2}{3}\sin^3\varphi) - \frac{2}{3}\frac{1}{\Omega} r \sin^3\varphi \right\} = o; \right.$$

d'où l'on déduit la valeur de T suivante :

$$T = 2 p a . \frac{\tfrac{1}{2}\left(\tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} \dfrac{\sin\varphi}{\varphi} \cos\varphi - \tfrac{1}{3} \sin^2\varphi\right) - \tfrac{1}{2} \dfrac{I}{\Omega} \dfrac{1}{r^2} \sin^2\varphi}{\varphi + \sin\varphi\cos\varphi - 2 \dfrac{\sin^2\varphi}{\varphi} + \dfrac{I}{\Omega} \dfrac{1}{r^2} (\varphi + \sin\varphi\cos\varphi) + 2 \dfrac{I}{\Omega'} \dfrac{1}{r^2} \sin\varphi}.$$

Quant à le valeur de M, elle a pour expression :

$$M = T r \left(\cos\varphi - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right) + \tfrac{1}{2} p r^2 \left(\sin^2\varphi + \tfrac{1}{2} \frac{\sin\varphi}{\varphi} \cos\varphi - \tfrac{1}{2}\right).$$

2° *Cas où la surcharge n'occupe qu'une demi-travée.* — Dans le cas où la surcharge n'occupe qu'une demi-travée, les valeurs des réactions et des moments s'obtiennent au moyen du même système d'équations que lorsque la réaction à la clef est appliquée au centre de gravité de la section de l'arc. L'équation des moments (B″) est seulement remplacée par la suivante :

$$M_1 + M_2 - 2 S_1 a + \tfrac{3}{2} p a^2 + \tfrac{1}{2} p^1 a^2 = o,$$

dans laquelle les moments sont pris par rapport au centre de gravité de la section des naissances, à laquelle se rapportent les quantités T_2, S_2 et M_2. La valeur de S_1 se trouve alors avoir pour expression

$$S_1 = \frac{\left(\dfrac{S+S'}{2} a + p a^2 - M - M'\right) \left\{ (S+S')\sin\varphi + (T+T')\cos\varphi \right\} + (M+M')(T+T')\cos\varphi}{2a \left\{ (S+S')\sin\varphi + (T+T')\cos\varphi \right\} - 2(M+M')\sin\varphi}$$

Équation modifiée de la courbe des pressions. — L'équation de la courbe des pressions subit également une modification qui consiste à augmenter

l'ordonnée générale y de la valeur y_0 de l'ordonnée du point de passage à la clef, ordonnée qui s'obtient au moyen de l'équation

$$M + T(f - y_0) - Sa + \tfrac{1}{2} pa^2 = o,$$

d'où l'on tire

$$y_0 = \frac{M + Tf - Sa + \tfrac{1}{2} pa^2}{T}.$$

Ainsi, dans le cas où la surcharge est répartie sur la travée entière, la courbe des pressions a pour équation

$$y = y_0 + \tfrac{1}{2} \frac{p}{T} x^2;$$

et dans le cas où la surcharge n'occupe qu'une moitié du tablier, les équations des deux branches qui composent cette courbe sont

$$y = y_0 + \frac{px^2}{2N\cos\alpha} - x \operatorname{tg} \alpha,$$

$$y = y_0 + \frac{p'x^2}{2N\cos\alpha} - x \operatorname{tg} \alpha.$$

Enfin les valeurs de N et de α sont encore données par les relations

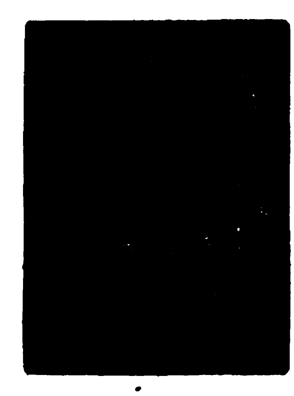
$$N\cos\alpha = T_1 = -T_2,$$

$$\operatorname{tg.} \alpha = \frac{pa - S_1}{T_1} = \frac{p'a - S_2}{T_2}.$$

CHAPITRE III.

CALCULS NUMÉRIQUES.

Calcul des éléments de la ligne moyenne.



r rayon de la ligne moyenne.
2φ angle des deux rayons extrêmes.
$2a$ corde.
f flèche.

On a

$$r = \frac{13,90}{\sin\varphi} + 0,40;$$

$$\text{tang}\,\varphi = \frac{13,90}{r - 4,85}$$

d'où l'on déduit

$$\text{Log}\sin\varphi = \log\frac{27,80 \times 4,45}{(13,90)^2 + (4,45)^2} = \bar{1}.7639997,$$

$$\varphi = 35^\circ\,30'\,15'' = \pi \times \frac{35^\circ\,30'\,15''}{180^\circ} = \frac{127815}{648000} = \pi \times 0,619665,$$

$$r = 24,334,$$
$$a = 13,90 + 0,40\sin\varphi = 14,132,$$
$$f = 4,85 - 0,40\cos\varphi = 4,524.$$

Calcul des éléments de la section d'un arc de rive.

I_1 moment d'inertie de la section à la clef.
I_2 id. id. aux naissances.
Ω_1 aire de la section à la clef.
Ω_2 id. aux naissances.

On a :

$$I_1 = \frac{(0,35)^4 - 2\left\{0,07 \times (0,33)^3 + 0,088 \times (0,306)^3 + 0,012 \times (0,18)^3\right\}}{12} = 0,00039935,$$

$$\Omega_1 = (2 \times 0,35 + 0,33) \times 0,010 + 4 \times 0,163 \times 0,012 = 0,018124,$$

$$I_2 = \frac{0,35\times(0,80)^3 - 2\left\{ (0,07\times(0,78)^3 + 0,088\times(0,756)^3 + 0,012\times(0,63)^3 \right\}}{12} = 0,00255961,$$

$$\Omega_2 = (2\times 0,35 + 0,78)\times 0,010 + 4\times 0,163\times 0,012 = 0,022624.$$

Section à la clef d'un arc de rive.



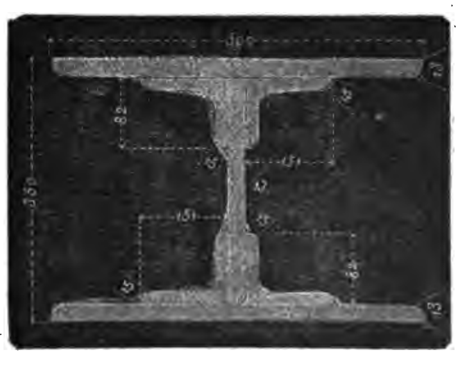
Section aux naissances d'un arc de rive.



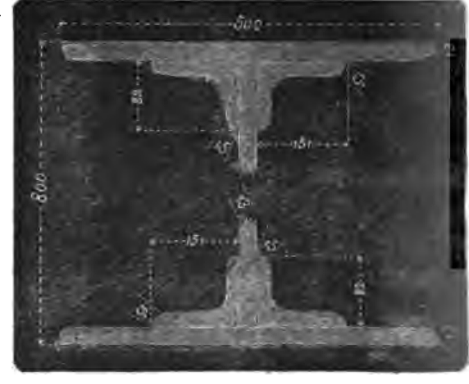
$\left(\frac{I}{\Omega}\right)_1$ rapport moyen du moment d'inertie à l'aire de la section d'un arc de rive, est égal à $\frac{1}{2}\left(\frac{I}{\Omega}\right)_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{I_1}{\Omega_1} + \frac{I_2}{\Omega_2}\right) = \frac{0.022034 + 0.113137}{2} = 0,067585.$

Calcul des éléments de la section de l'arc intermédiaire.

Section à la clef de l'arc intermédiaire.



Section aux naissances de l'arc intermédiaire.



I'_1 moment d'inertie de la section à la clef.
I'_2 id. id. aux naissances.
Ω'_1 aire de la section à la clef.
Ω'_2 id. aux naissances.

On a :

$$I'_1 = \frac{0{,}50\times(0{,}35)^3 - 2\times\left\{0{,}0925\times(0{,}324)^3 + 0{,}136\times(0{,}294)^3 + 0{,}015 + (0{,}16)^3\right\}}{12}$$

$$= 0{,}00067585,$$

$$\Omega'_1 = (2\times0{,}50 + 0{,}324)\times0{,}013 + 4\times0{,}218\times0{,}015 = 0{,}030292,$$

$$I'_2 = \frac{0{,}50\times(0{,}80)^3 - 2\times\left\{0{,}0925\times(0{,}774)^3 + 0{,}136\times(0{,}744)^3 + 0{,}015 + (0{,}61)^3,\right\}}{12}$$

$$= 0{,}00428258,$$

$$\Omega'_2 = (2\times0{,}50 + 0{,}774)\times0{,}013 + 4\times0{,}218\times0{,}015 = 0{,}036142.$$

$\left(\frac{I}{\Omega}\right)_2$ rapport moyen du moment d'inertie à l'aire de la section de l'arc intermédiaire,

$$\left(\frac{I}{\Omega}\right)_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{I'_1}{\Omega'_1} + \frac{I'_2}{\Omega'_2}\right) = \frac{0.022311 + 0.118493}{2} = 0{,}070402.$$

Calcul des sections des tirants.

Section du tirant d'une ferme de rive.



Section du tirant de la ferme intermédiaire.



Ω_T aire de la section du tirant d'une ferme de rive.

Ω'_T id. id. de la ferme intermédiaire.

$\left(\frac{I}{\Omega'}\right)_1$ rapport moyen du moment d'inertie d'un arc de rive à l'aire de la section du tirant correspondant.

$\left(\frac{I}{\Omega'}\right)_2$ rapport moyen du moment d'inertie de l'arc intermédiaire à l'aire de la section du tirant correspondant.

$$\Omega_T = (2 \times 0,350 + 0,946) \times 0,007 + 4 \times 0,165 \times 0,010 = 0,018122,$$

$$\Omega'_T = (2 \times 0,500 + 0,940) \times 0,010 + 4 \times 0,2205 \times 0,0125 = 0,030425,$$

$$\left(\frac{I}{\Omega'}\right)_1 = \frac{\frac{1}{2}(I_1 + I_2)}{\Omega_T} = \frac{0.00147948}{0.018122} = 0,081640,$$

$$\left(\frac{I}{\Omega'}\right)_2 = \frac{\frac{1}{2}(I'_1 + I'_2)}{\Omega'_T} = \frac{0.00247921}{0.030425} = 0,081486.$$

ARCS DE RIVE.

1° CALCUL DES RÉACTIONS INCONNUES DANS LE CAS OU LA SURCHARGE EST UNIFORMÉMENT RÉPARTIE SUR LA TRAVÉE ENTIÈRE.

Calcul de la réaction horizontale T.

$$T = 2pa.\frac{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}\frac{\varphi}{\sin\varphi} - \frac{1}{2}\cos\varphi - \frac{1}{3}\sin^2\varphi\right) - \frac{1}{2}\frac{I}{\Omega}\frac{1}{r^2}\sin^2\varphi}{3\varphi - 4\sin\varphi + \sin\varphi\cos\varphi + \frac{I}{\Omega}\frac{1}{r^2}(\varphi + \sin\varphi\cos\varphi) + 2\frac{I}{\Omega'}\frac{1}{r^2}\sin\varphi} = p \times 21,97.$$

La valeur de p, charge verticale par mètre courant uniformément répartie sur chacun des arcs de rive, résulte de la décomposition suivante :

	Poids du pont par mètre courant de voie.
Voûtes et chape.	1,200 k
Ballast.	3,432
Voie.	140
Partie métallique	1,290
	6,062

Soit pour le poids du pont par mètre courant de voie. . . .	6,000 k
Poids de la surcharge par id.	4,000
Charge totale par mètre courant de voie.	10,000 k

La valeur de p étant égale à la moitié de la charge par mètre courant de voie, on a $p = 5,000^k$.

D'où

$$T = 5,000 \times 22 = 110,000^k.$$

Calcul de la réaction verticale S.

$$S = pa = 5,000 \times 14,132 = 70,660^k.$$

Calcul du moment M.

$$-M = \tfrac{1}{2}\,pa^2 - Tf = 499283 - 497640 = 1643.$$

Calcul de la distance Z, *du centre des pressions dans la section des naissances au centre de gravité de cette section.*

On a
$$Z = \frac{M}{T\cos\varphi + S\sin\varphi} = \frac{1643}{130585} = 0^{m},013.$$

Calcul du coefficient de travail R_1 *de la section à la clef.*

$$R_1 = \frac{T}{\Omega_1} = \frac{110000}{0.018124} = 6069300,$$

soit $6^{k}.07$ par millimètre carré.

Calcul du coefficient de travail R_2 *de la section des naissances.*

$$R_2 = \frac{V'M}{I_2} + \frac{T\cos\varphi + S\sin\varphi}{\Omega_2} = 256758 + 5771968 = 6028726,$$

soit $6^{k}.03$ par millimètre carré.

Calcul du coefficient de travail R *de la surface* Ω *des coins de serrage.*

$$\Omega = 0,35 \times 0,04 = 0,0140\,;$$

d'où
$$R = \frac{T}{\Omega} = \frac{110000}{0.0104} = 7,857,143,$$

soit $7^{k}.86$ par millimètre carré.

Nous rappellerons que les coins de serrage sont en acier fondu, et que cette matière peut sans inconvénient travailler à un coefficient double de celui du fer forgé, surtout à l'écrasement qui est précisément le genre d'efforts auquel les coins doivent résister. Cette considération nous à déterminé à restreindre leur hauteur autant que possible, afin de rendre plus efficace la disposition dont ils font partie.

2° CALCUL DES RÉACTIONS INCONNUES DANS LE CAS OU LA SURCHARGE EST NULLE.

$$T' = 110000 \times \tfrac{3}{5} = 66,000^{k};\ S' = 70,660 \times \tfrac{3}{5} = 42,396;\ M = 1,643 \times \tfrac{3}{5} = 986.$$

3° Calcul des réactions inconnues dans le cas où la surcharge n'occupe qu'une demi-travée.

Calcul des réactions horizontales.

$$T_1 = -T_2 = \frac{T+T'}{2} = \frac{110000+66000}{2} = 88000^k.$$

Calcul des réactions verticales.

$$S_1 = \frac{\left(\frac{T+T'}{2} f + \frac{1}{2} pa^2\right)\left\{(S+S')\sin\varphi + (T+T')\cos\varphi\right\} + (M+M')\frac{T+T}{2}\cos\varphi}{a\left\{(S+S')\sin\varphi + (T+T')\cos\varphi\right\} - (M+M')\sin\varphi} = 63598^k,$$

$$S_2 = (S+S') - S_1 = 113056 - 63598 = 49458^k.$$

Calcul des moments M_1 *et* M_2.

$$M_1 = S_1 a - T_1 f - \tfrac{1}{2} pa^2, = 1372$$
$$-M_2 = -(M+M') - M_1 1257.$$

Calcul de la distance Z du centre des pressions dans la section des naissances au centre de gravité de cette section.

$$Z = \frac{M_1}{T_1\cos\varphi + S_1\sin\varphi} = \frac{1372}{108573} = 0^m,013.$$

Calcul de l'inclinaison α *sur l'horizontale de la réaction à la clef.*

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{pa - S_1}{T_1} = \frac{70660 - 63598}{88000} = \frac{7062}{88000},$$
$$\log \mathrm{tg}\,\alpha = \bar{2}.9044450,$$
$$\alpha = 4^\circ\, 35'.17''.$$

Calcul du coefficient de travail R_1 *de la section à la clef.*

$$R_1 = \frac{T_1}{\Omega_1} = \frac{88000}{0.018124} = 4968538,$$

soit $4^k.97$ par millimètre carré de section.

Calcul du coefficient de travail R_2 *de la section des naissances.*

$$R_2 = \frac{V'M_1}{I_2} + \frac{T_1\cos\varphi + S_1\sin\varphi}{\Omega_2} = 214408 + 4799019 = 5013427,$$

soit $5^k.01$ par millimètre carré.

Calcul de l'effort tranchant F *à la clef.*

$$F = T_1 \, tg \, \alpha = 7{,}062^k.$$

L'effort tranchant à la clef atteignant son maximum quand la surcharge occupe une demi-travée, sa faible valeur ($7{,}062^k$) est de nature à donner toute sécurité, en présence de la valeur de la poussée horizontale qui est de $88{,}000^k$, sur la manière dont se comportera le système des coins de serrage, qui ne pourront évidemment prendre aucun jeu dans le sens vertical par le seul fait du frottement. Cet assemblage jouit donc d'une stabilité parfaite et se trouve à l'abri de toute dislocation.

ARC INTERMÉDIAIRE.

CALCUL DES RÉACTIONS INCONNUES DANS LE CAS OU LA SURCHARGE EST UNIFORMÉMENT RÉPARTIE SUR LA TRAVÉE ENTIÈRE.

Calcul de la réaction horizontale T.

$$T = 2pa. \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}\frac{\varphi}{\sin\varphi} - \frac{1}{2}\cos\varphi - \frac{1}{3}\sin^2\varphi\right) - \frac{1}{3}\frac{I}{\Omega}\frac{1}{r^2}\sin^2\varphi}{3\varphi - 4\sin\varphi + \sin\varphi\cos\varphi + \frac{I}{\Omega}\frac{1}{r^2}\left(\varphi + \sin\varphi\cos\varphi + 2\frac{I}{\Omega'}\frac{1}{r^2}\sin\varphi\right)}$$

$$= p \times 21.95 = 10000 \times 21.95 = 219500^k,$$

soit $220{,}000^k$, c'est-à-dire précisément le double de la poussée horizontale qui agit sur les arcs de rive. La charge permanente et la surcharge étant également doubles, il s'ensuit que toutes les réactions et leurs moments ont pour l'arc intermédiaire des valeurs doubles de celles qui ont été trouvées pour les arcs de rive, et qu'elles sont appliquées aux mêmes points, tant dans le cas où la surcharge est répartie sur la travée entière que dans celui où elle n'en occupe qu'une moitié.

On a donc :

$$S = 141{,}320^k, \quad M = 3{,}286;$$

$$T' = 132{,}000^k, \quad S' = 84{,}792^k, \quad M' = 1972;$$

$$T_1 = -T_2 = 176{,}000^k, S_1 = 127{,}196^k, S_2 = 98{,}916^k, M_1 = 2{,}744, M_2 - 2{,}514.$$

Calcul du coefficient de travail R_1 *de la section à la clef.*

$$R_1 = \frac{T}{\Omega'_1} = \frac{220{,}000}{0{,}030292}$$

$$= 7{,}262{,}645,$$

soit $7^k.26$ par millimètre carré.

Calcul du coefficient de travail R_2 *de la section des naissances.*

$$R_2 = \frac{v' M}{I'^2} + \frac{T \cos \varphi + S \sin \varphi}{\Omega'_2} = 306918 + 7226220,$$

soit $7^k.53$ par millimètre carré.

Nous ferons observer que dans le cas où un train seulement se trouve sur le pont, ce qui est la circonstance normale de l'exploitation, la section à la clef ne travaille qu'au coefficient de $5^k.81$, et la section des naissances au coefficient de $6^k.02$, puisque la charge par mètre courant n'est alors que les $\frac{4}{5}$ de celle qui correspond au cas où les deux voies sont chargées. Ainsi, dans le cas le plus général, les trois formes travaillent sensiblement au même coefficient de 6^k, et par suite leurs flexions sont identiques, condition qu'on doit toujours s'attacher à remplir pour éviter de fatiguer les assemblages des pièces de pont.

Calcul du coefficient de travail R *de la surface* Ω *des coins de serrage.*

$$\Omega = 0{,}50 \times 0{,}05 = 0{,}0250\,;$$

$$R = \frac{T}{\Omega} = \frac{220{,}000}{0{,}0250} = 8{,}800{,}000,$$

soit $8^k.80$ par millimètre carré.

Bien que le coefficient de $8^k.80$ soit peu considérable pour l'acier fondu, nous renouvellerons l'observation précédente d'après laquelle ce coefficient ne s'élèvera qu'à $7^k.10$ dans le cas le plus ordinaire.

CALCUL DES RÉACTIONS QUI SOLLICITERAIENT UN ARC DE RIVE, S'IL ÉTAIT CONTINU, LA SURCHARGE ÉTANT UNIFORMÉMENT RÉPARTIE SUR LA TRAVÉE ENTIÈRE.

Calcul de T.

$$T = 2pa.\frac{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\frac{\sin\varphi}{\varphi}\cos\varphi - \frac{1}{3}\sin^2\varphi\right) - \frac{1}{3}\frac{I}{\Omega}\frac{1}{r^2}\sin^2\varphi}{\varphi + \sin\varphi\cos\varphi - 2\frac{\sin^2\varphi}{\varphi} + \frac{I}{\Omega}\frac{1}{r^2}(\varphi + \sin\varphi\cos\varphi) + 2\frac{I}{\Omega'}\frac{1}{r^2}\sin\varphi}$$

$$= p \times 20.77 = 5000 \times 20.77 = 103850^k.$$

Calcul de M.

$$M = Tr\left(\cos\varphi - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right) + \frac{1}{2}pr^2\left(\sin^2\varphi + \frac{1}{2}\frac{\sin\varphi}{\varphi}\cos\varphi - \frac{1}{2}\right).$$

$$= 323860 - 311658 = 12202.$$

Calcul de l'ordonnée y_0 du point de passage de la courbe des pressions à la clef.

$$y_0 = \frac{M + Tf - Sa + \frac{1}{2}pa^2}{T} = -\frac{16585}{103850}$$

$$= -0^m,159.$$

Calcul du coefficient de travail R *de la section à la clef.*

$$R = \frac{\mu v'}{I} + \frac{T}{\Omega} = \frac{104,000 \times 0,159 \times 0,175}{0,00039935} + \frac{104,000}{0,018124}$$

$$= 7246275 + 5738246 = 12,984,251,$$

soit 13^k par millimètre carré.

Ce résultat met pleinement en évidence l'inégale répartition des efforts dans l'étendue d'une même section produite par le jeu de l'élasticité du métal, et le travail considérable qui en résulte pour les fibres extrêmes. La disposition que nous avons adoptée pour faire passer la résultante des efforts au milieu de la clef se trouve donc justifiée, puisque sans cette disposition le travail du métal de la semelle supérieure dépasserait de beaucoup le chiffre dont il convient de ne pas s'écarter en pratique.

ANALYSE DU MÉMOIRE

DE M. SCOTT-RUSSEL

SUR LES FLOTTES EN FER,

par M. JULES GAUDRY.

LA FLOTTE DE L'AVENIR, FER OU BOIS, *réponse de M. Scott-Russel au mémoire du général S. Howard Douglas, en faveur des navires en bois*, tel est le titre d'une publication qui a fait grand bruit en Angleterre pour trois raisons : premièrement parce qu'elle émane de l'illustre constructeur du *Great-Eastern*, et répond à une des sommités du génie militaire anglais; 2° parce que les plus graves questions navales y sont traitées; 3° parce que son objet n'a été élevé à rien moins qu'à la hauteur d'une question nationale, ainsi qu'il arrive chez nos voisins pour tout ce qui touche la marine.

La France a possédé la première ces bâtiments de fer ou de bois cuirassés que M. Scott-Russel propose à sa patrie, et dont il rapporte à l'empereur Napoléon l'initiative et l'idée.

Trop bon Anglais pour ne pas jeter aussi à leur vue son cri d'alarme, il était plus que tout autre appelé à se faire le défenseur de la flotte de fer et à répondre au *pamphlet* du général Douglas, le grand champion du *parti anti-fer*, car il y plus de quinze ans, nous dit-il, qu'il a construit pour l'amirauté des frégates et corvettes de fer qui ont fait leurs preuves, et puis il est le constructeur du *Great-Eastern*, contre lequel le général Douglas a dirigé d'amères critiques, comme étant la plus haute expression de l'emploi du métal dans les constructions maritimes. Son Mémoire discute donc aussi les critiques qui courent le monde au sujet du célèbre steamer, si cruellement éprouvé.

Malgré ses derniers malheurs, dont la persévérance anglaise le fera sortir encore une fois victorieux sans doute, nos sympathies acquises à la dernière grande œuvre de Brunel donnent un grand intérêt au Mémoire de M. Scott-Russel. La question de la flotte de fer qu'il traite est en outre brûlante dans tous les pays qui ont une marine. Notre Président m'a donc chargé de vous le faire connaître. Ne pouvant, en raison de sa longueur,

en rapporter la traduction littérale, je vais m'efforcer au moins en l'analysant de citer le texte le plus possible, et de lui conserver son originalité.

Le Mémoire débute ainsi :

« La question entre les murailles des navires en bois et les cuirasses de fer est devenue si grave pour la sécurité et l'indépendance de l'Angleterre, qu'il n'est plus temps déjà de l'étudier seulement comme une question d'art théorique; une conclusion pratique est du plus haut intérêt national.

« C'est ce moment qu'un officier général de grand savoir, de haut rang, comme sir Howard Douglas, a choisi pour se faire l'avocat des murailles de bois.

« Consulté jadis par sir Robert Peel, et depuis par son gouvernement, voici comment sir Douglas a formulé son avis :

« Les navires de fer sont absolument impropres à la marine militaire, soit pour le combat, soit même pour les transports de troupes :

« 1° Parce qu'un bon coup de boulet de 68 livres traverserait avec de formidables effets, en faisant une trouée impossible à aveugler, le plus solide bâtiment en fer, tel que le *Great-Eastern* par exemple, qui a d'ailleurs un roulis terrible, et qui n'a jamais pu atteindre sa vitesse promise.

« 2° Parce que même sur une tôle de 5/8 de pouce, s'il est vrai qu'il y a garantie contre la mitraille ou le boulet creux non brisé, les fragments de celui-ci traversent en produisant le plus désastreux effet.

« 3° Parce que, pour être à peu près invulnérable à l'artillerie moderne, le blindage ne saurait avoir moins de 4 pouces et demi (112 millimètres) d'épaisseur s'il est appliqué à des murailles de bois comme blindage ou cuirasse, sinon il lui faut une épaisseur de 6 à 8 pouces (150 à 200 millimètres). Or, à ces conditions le bâtiment perd ses qualités nautiques, et alors, dit sir Douglas, on est renfermé dans cet inextricable dilemme : ou bien pas d'invulnérabilité, ou bien pas de navigabilité. »

Telle est l'argumentation de sir Douglas. Mais d'abord (c'est M. Russel qui parle) une invulnérabilité absolue et pour ainsi dire théorique n'est pas en question; elle est impossible. Il n'y a pas de cuirasse de fer ou d'acier si épaisse qui, à la longue, ne soit crevée par un boulet frappant à la même place, supposition d'ailleurs tout imaginaire dans la pratique. La seule question doit être celle-ci : peut-il être fait des bâtiments en fer d'une médiocre épaisseur, doués des qualités nautiques ordinaires, et suffisamment invulnérables pour *beaucoup mieux* affronter les projectiles modernes que les vaisseaux de bois actuels.

Ceci dit, examinons les critiques faites au *Great-Eastern*, comme point de départ de la discussion.

§ I. Examen des critiques a l'occasion du Great-Eastern.

1° *Dit sir Douglas : Le* Great-Eastern *est un terrible rouleur.*

Mon éminent lecteur, répond littéralement sir Russel, comprendra sans peine l'effet de cette imputation sur le constructeur du *Great-Eastern*. Aucun sujet ne m'a tant occupé en fait d'architecture navale que la solidité, la navigabilité, le confort et l'économie des navires de guerre ou de commerce. J'en avais fait l'objet de soins particuliers dans la construction du *Great-Eastern*, et avant de lire le *pamphlet* de sir Douglas, je croyais qu'aucun navire du monde ne dépassait le *Great-Eastern* en confort et en stabilité; je croyais que dans le voyage du détroit de Douvres par une mauvaise mer, aucun des 600 passagers ne s'était plaint du roulis, alors que le navire, peu chargé, n'était immergé que de 22 pieds, et ayant 40 pieds hors de l'eau.

Dans cet état, où son roulement aurait pu être en vérité terrible, il fut tel que les passagers firent entendre cette exclamation de surprise : Après tout, il peut rouler.

Car on avait prédit que le mouvement des flots ne l'ébranlerait pas, qu'il recevrait les coups de mer comme un roc, et qu'incapable de leur céder, il serait bientôt mis en pièces. Le fait que le navire cédait librement, avec aisance et modération, fut donc salué comme un heureux événement par les marins et passagers, et de là cette exclamation de surprise : *Il peut rouler*.

Il roule trop, dit sir Douglas; c'est un terrible rouleur! Cela signifie apparemment qu'il roule plus que d'autres bâtiments, comme, par exemple, le vaisseau de bois *Héro*, ou la frégate de bois *Ariadne*.

Heureusement la même poste qui m'apporta le pamphlet de sir Douglas me remettait aussi une note de deux ingénieurs américains et d'un ingénieur anglais, qui caractérisent le mouvement du navire de *vague sensation de roulis;* ils rapportent qu'un pendule placé dans la chambre ne dépassa pas 13° d'inclinaison sous le vent, ce qui est peu de chose. Durant onze jours de voyage de Southampton à New-York, les tables de la salle à manger restèrent dressées, et les pots de Burton-ale demeurèrent sur leur fond, sans verser; en somme, l'inclinaison fut de 10° de chaque côté. Voilà une mesure précise et théorique, et dans une mauvaise mer ce terrible roulement ne peut renverser des bouteilles d'ale.

2° *Le* Great-Eastern *n'a jamais atteint la vitesse calculée, dit sir Douglas.*

De quelle vitesse calculée sir Douglas parle-t-il? est-ce de la mienne? Je n'ai jamais promis que 14 nautical miles dans les meilleures conditions; or on en a filé 13,9 dans cette traversée d'Amérique où ces conditions

n'ont pas été les meilleures, puisque sir Douglas prétend que le roulis fut terrible.

Sir Douglas parle-t-il de la vitesse par lui calculée? Je suis forcé de lui dire que ses calculs ont sans doute une base erronée, et de lui rappeler les règles admises qui suivent : la vitesse d'un navire dépend de la force motrice qu'il possède à bord. Ceci étant :

1° Un cheval-vapeur meut 6 tonneaux à la vitesse de 8 nœuds. Ainsi un navire de 600 tonneaux, pour cette vitesse, aura 100 chevaux. On nomme *lente* ou *auxiliaire* cette première force relative.

2° Dans une frégate filant de 10 à 11 nœuds (considérée comme bonne marche), un cheval ne meut déjà plus que 4 tonneaux.

3° Pour une frégate rapide, filant 14 nœuds, on ne compte plus que 3 tonneaux mus par cheval.

Or dans le *Great-Eastern,* dont le tonnage est de 22,500 tonneaux et la force motrice nominale de 2,500 chevaux, le rapport est de 9 tonneaux par cheval.

Telle est la minime force relative, sans exemple dans l'amirauté, qui meut le *Great-Eastern* à une des plus grandes vitesses connues.

Donc, conclut sir Russel, mes prévisions n'ont pas été trompées; pour l'exactitude de mes calculs j'ai d'ailleurs le contrôle de ceux de l'éminent ingénieur naval M. Reed, qui sont entièrement conformes aux miens.

3° *Un bon coup de boulet d'un canon de* 68 *livres traverserait la coque du* Great-Eastern *avec des effets terribles.*

Sir Russel répond en substance ainsi qu'il suit à cette nouvelle objection de sir Douglas :

Un canon de 68 livres ou 8 pouces peut envoyer une grande variété de projectiles, notamment un boulet rouge qui s'incruste dans le bordage d'un vaisseau de bois et y met inévitablement le feu; tandis que dans la coque en fer du *Great-Eastern* il n'y a, du moins, pas de danger d'incendie.

Les boulets solides ou explosifs, la mitraille et autres projectiles modernes, dont il suffit d'une demi-douzaine pour désorganiser une membrure, ne produiront dans la coque en fer du *Great-Eastern* que de simples trous ordinaires. Donc les effets terribles redoutés par sir Douglas n'ont rien de fondé.

4° *Les perforations de la coque du* Great-Eastern *ne peuvent être aveuglées.*

Encore une allégation gratuite de sir Douglas, à laquelle il suffit d'opposer les rapports de MM. Charles Wood et Hall, capitaines de frégate, qui ont combattu au Mexique et en Chine sur des navires tantôt en fer, tantôt en bois. De ces rapports il résulte que les bâtiments de fer ont éprouvé

moins de dommage et ont plus vite réparé leurs avaries. La comparaison fut surtout concluante pour la *Némésis*, qui répara toujours ses avaries en vingt-quatre heures, et ne manqua jamais son service, tandis que les bâtiments de bois, bien plus gravement atteints, étaient forcés de s'en aller en relâche aux Indes. Et si l'on objecte que les boulets chinois ne sont pas comparables à nos formidables projectiles d'Europe, nous répondrons que la *Némésis* n'était aussi qu'en mince tôle de 1/2 pouce.

Enfin, il y a des expériences sur la résistance de plus épaisses parois; sir Douglas les cite, et pour moi, dit sir Russel, voici ce que j'y vois :

1° Une cuirasse en tôle de 5/8 de pouce supporte passablement les éclats de boulets explosifs et la mitraille;

2° Avec 2 pouces d'épaisseur, l'impénétrabilité à ces projectiles est complète;

3° Avec 4 pouces 1/2, les plus gros boulets pénètrent difficilement;

4° Avec 6 pouces, l'impénétrabilité est absolue.

Ces nombres jugent la question.

§ II. *Comparaison du fer et du bois dans la construction des bâtiments de guerre.*

Avec les projectiles modernes, dit M. Scott-Russel, il est reconnu qu'un engagement entre deux vaisseaux de ligne actuels peut être une affaire de cinq minutes, et se terminer par l'anéantissement de l'un, sinon de tous deux; alors on se pose nécessairement cette question : Pourquoi ne pas essayer le fer, si le bois n'offre plus de garantie?

En fait, que s'est-il passé en l'an 1854? D'une part, on a vu les vaisseaux de bois ne pouvoir forcer l'entrée du port de Sébastopol, ni même faire taire les forts de la côte, quelque formidable que fût notre artillerie; et, d'autre part, les batteries et canonnières blindées de la France prenaient Kimburn sans éprouver un grand dommage. Ce furent des faits concluants, dit toujours M. Russel, qui décidèrent l'empereur Napoléon, dans les projets de sa marine future, aussi bien pour les grands navires comme la *Gloire*, que pour les canonnières à faible tirant d'eau. Pendant que la France se mettait résolûment à l'œuvre, nous, Anglais indécis, nous engloutissions splendidement nos millions dans des murailles de bois.

Combien de temps resterons-nous ainsi sans défense? continue plus loin M. Scott-Russel; et que nous en coûtera-t-il? La reconstruction de la marine britannique est, assurément, un problème qu'on ne peut envisager sans anxiété; il s'agit maintenant, non de penser, mais d'agir; de longues années ont été perdues, il n'y a eu ni prévoyance ni expérience, ni études faites, mais indécision, aveuglement. Et c'est en présence même du péril qu'il faut nous mettre à l'œuvre.

Cependant les faits n'ont pas manqué pour encourager l'amirauté.

Dans la marine marchande, il y a vingt ans qu'on fait des bâtiments de fer, et on n'y compte pas aujourd'hui une coque en bois sur cent.

Pendant que nous faisions des expériences dans de mauvaises conditions, et par conséquent insuffisantes, pour conclure d'elles contre le fer, l'empereur Napoléon commandait expérience sur expérience, construisait ses batteries flottantes dont nous fîmes de mauvaises copies, et Kimburn fut pris.

En Crimée même, nous eûmes le *Recruit* et le *Weser*, tous deux en fer, construits sur les chantiers anglais, mais pour une amirauté étrangère. Ce furent eux qui, dans la mer d'Azof, ravagèrent les côtes et fournirent des arguments décisifs en faveur des coques de fer.

Supposons qu'un individu propose aujourd'hui de raser les fortifications actuelles de terre et de pierre qui entourent les villes fortes, et qu'à leur place, on protége les libertés de ces cités par des parois de charpente hautes de 30 pieds et épaisses de 30 pouces, contre la science et l'adresse d'un ennemi possédant tous les modernes engins de guerre. Ne dirait-on pas que cet individu est fou? Eh bien, le fer est, vis-à-vis du bois, dans la marine, ce que lui est le granit dans les défenses terrestres.

Bien plus! est-ce que sir Douglas oublie que, dans celles-ci même, la pierre et la brique se revêtent aujourd'hui de fer autour des embrasures; parce que le granit lui-même n'offre plus de sécurité contre l'artillerie moderne?

Après ces réflexions éparses et répétées dans le Mémoire, et que nous, qui l'analysons, nous avons seulement condensées en tâchant de traduire littéralement les mots; après ces réflexions, dis-je, M. Scott-Russel compare le fer et le bois sous dix points de vue, dont plusieurs ont été examinés déjà à propos du *Great-Eastern*. Il revient notamment dans quatre articles sur les qualités des coques de fer, pour affronter tous les projectiles ennemis connus, sinon absolument, du moins avec des dangers pour ainsi dire insignifiants, comparés à leurs désastreux effets sur les bâtiments actuels.

Viennent ensuite quatre questions d'un haut intérêt, qui, toutes, se résolvent à l'avantage du fer :

1° *Un vaisseau de fer est plus solide qu'un égal vaisseau de bois, quoique beaucoup plus mince et plus léger.*

Cet avantage résulte, non-seulement de ce que le fer peut être employé sous un bien moindre volume que le bois, en raison de leur résistance comparative, mais aussi parce que le bâtiment de fer se compose d'un nombre, relativement très-petit, de pièces distinctes. Chacune étant, par voie de soudure, d'un seul morceau aussi grand qu'on veut; le tout étant ensuite rendu solidaire en un corps unique par la rivure. Un bâtiment de bois, au contraire, ne fût-il que de 1,000 tonneaux, ne contient pas moins

de 2,000 pièces principales, clouées et chevillées ensemble, sans qu'on puisse leur ôter complétement leur indépendance; leur nombre ne peut même se former qu'en réunissant pour chaque couple plusieurs pièces de bois imparfaitement assemblées, car la nature fournit rarement les arbres de grosseur et de forme voulues, tandis que rien n'est plus élémentaire que d'apairer des pièces de fer semblables et d'un seul morceau. D'où il suit qu'un grand navire en fer n'a pas de raison d'être moins solide qu'un petit, tandis que dans un grand navire en bois, les pièces assemblées, infiniment plus nombreuses que dans un petit, sont une cause de jeu et d'altération nuisant à la solidité.

2° *Un bâtiment de fer est plus léger et plus spacieux à l'intérieur qu'un bâtiment de bois à égalité de résistance, de déplacement d'eau et d'armement.*

C'est un fait reconnu pour les bâtiments de commerce en tôle d'un demi-pouce; selon M. Scott-Russel, le fait serait général, même pour les vaisseaux à bordage épais. Selon lui, une frégate de fer, pareille extérieurement à la frégate de bois *Orlando*, porterait 1,000 tonnes de plus au même tirant d'eau de 23 pieds.

3° *Un bâtiment de fer offre plus de chance de salut contre les périls de mer.*

Sans doute le fer ne pouvant surnager comme le bois, si le navire se brise, ses fragments ne peuvent être employés en radeaux ou bouées de sauvetage ; mais, d'autre part, le bâtiment de fer offre dans sa construction même de nouvelles garanties de sécurité. D'abord il y a le système à doubles parois cellulaires du *Great-Eastern;* il y a encore les cloisons dites *bulkhead*, divisant la coque en un certain nombre de compartiments étanches. Le *Great-Eastern* possède onze cloisons transversales et vingt-deux cloisons longitudinales. Une demi-douzaine de compartiments étanches ainsi formés pourraient se remplir, sans qu'il y eût dommage pour les autres et sans qu'il y eût péril pour le navire.

Sir Douglas a objecté que le *Birkenhead* et le *Royal-Charter* avaient des compartiments étanches et n'en ont pas moins péri; mais il suffit de lui répondre que le *Birkenhead* n'avait que deux compartiments étanches, ce qui est notoirement insuffisant, et que le *Royal-Charter* ayant ses cloisons en longueur seulement, l'un des compartiments en s'emplissant dut nécessairement faire chavirer le navire par côté. Ces exemples ne révèlent donc qu'une application vicieuse du principe, mais rien contre le principe lui-même.

4° *Les bâtiments de fer courent moins de danger d'incendie.*

Non-seulement il y a le danger des projectiles incendiaires de l'ennemi, mais on ne peut, dit sir Russel, penser sans effroi à la masse de charbon embrasée existant dans les foyers d'un steamer, et à l'amas des matières

combustibles de toute sorte qu'il contient. C'est une menace incessante de destruction pour les murailles de bois.

Quant à la sécurité des parois de fer, à cet égard elle ressort, parmi beaucoup d'exemples, de celui de la *Sarah-sands*, qui prit feu en mer étant chargée de troupes pour l'Inde. Tout fut brûlé sur un tiers de la longueur du navire, un magasin sauta; on eut ensuite dix jours de gros temps, et on ne perdit cependant pas un seul homme.

§ III. *Projet de la nouvelle flotte anglaise.*

M. Scott-Russel propose dix sortes de bâtiments à vapeur construits en fer épais, les uns en totalité, les autres par partie seulement, devant les batteries et les machines qu'il s'applique toujours à protéger comme étant l'âme des navires. Mais ici son Mémoire est très-bref, et se borne à une simple énonciation de la force et du prix des bâtiments projetés.

Ils sont d'abord de trois classes. La première contient des vaisseaux, frégates et corvettes de première puissance, destinés à agir ensemble, en tous climats, circonstances et saisons, partout on peut les appeler la *domination* de Sa Majesté Britannique.

Leur destination spéciale est d'attaquer ou de se défendre vis-à-vis un ennemi puissant, dans des eaux profondes, en réunissant au plus haut degré les conditions économiques.

Ces bâtiments qui, on va le voir, paraissent projetés sur des proportions gigantesques, auraient tous une égale vitesse de 15 nœuds, et du charbon dans leur soute pour 5,000 milles de parcours. Ils seraient dans les conditions de structure des meilleurs navires marins. Quant à leur tirant d'eau, il n'excède pas celui qui est commandé par les bassins actuels. Ils sont inexpugnables, comparativement aux bâtiments d'aujourd'hui à égalité d'armement. Les machines et batteries sont totalement protégées par la cuirasse de fer.

Les bâtiments de deuxième classe proposés ne jouissent pas de la même défense complète; mais ils ont cependant un degré de protection suffisant. Ce sont des bâtiments *auxiliaires* de la grande flotte proprement dite qui précède; ils ont la même vitesse, mais ils tirent moins d'eau, pour aller trouver l'ennemi là où ne peuvent mouiller les grands navires.

Ils sont spécialement destinés contre lui à des entreprises secondaires.

La troisième classe comprend les canonnières et leurs auxiliaires.

Suit la nomenclature des bâtiments projetés.

1° Vaisseaux de ligne :

Armement.	100	canons.
Port..	10,000	tonneaux.
Force nominale..	2,500	chevaux.

Prix (armé) : 750,000 liv. st., soit 18,750,000 fr.

2° Frégates :

Armement. . . . . 50 canons.
Port.. . . . . 7,000 tonneaux.
Prix : 500,000 liv. st., soit 12,500,000 fr.

La force n'est pas indiquée. Il nous a paru que la pensée de l'auteur était de l'évaluer à 1,250 chevaux, comme dans le *Warrior*.

3° Corvettes :

Armement. . . . . 20 canons.
Port.. . . . . 5,000 tonneaux.
Prix : 300,000 liv. st., soit 7,500,000 fr.

Dans une autre partie du Mémoire, l'auteur paraît supposer une force de 1,500 chevaux.

4° Clippers à vapeur.

Port.. . . . . 2,500 tonneaux.
Tirant d'eau 16 pieds ou 4m.86.
Prix : 160,000 liv. st., soit 4,000,000 fr.

M. Scott-Russel ajoute, à propos de ce nouveau genre de navires, que le projet lui a été suggéré par un prince étranger, marin distingué, qui en a fait construire un en bois, armé de 10 canons.

Quatre de ceux-ci seulement, ainsi que la machine et les magasins, sont inexpugnables derrière la cuirasse, ce qui suffit pour passer devant l'ennemi sens être écrasé. Le tirant d'eau réduit leur permettrait d'agir *dans la Baltique par exemple*, dit M. Russel. Les clippers proposés seraient sans doute sur le même type. La force motrice n'est pas indiquée.

5° Sloops à vapeur. Ces bâtiments, analogues à ceux du même genre qui existent, sont tout en fer, entièrement protégés par leur cuirasse épaisse, armés de 10 canons; ils jaugent 2,000 tonneaux et coûteront 3,000,000 de francs. Pas d'indication de force.

6° Bateaux-poste. Ces bâtiments, destinés spécialement à faire le service d'estafette dans les escadres, auront une vitesse de 16 à 17 nœuds, seront armés de 10 canons, et protégés dans leurs parties vitales seulement; ils coûteront deux millions et demi. Pas d'indication de force.

7° Petites canonnières des côtes. Elles porteront un canon de 100 livres, jaugeront 120 tonneaux, auront dans la machine à vapeur 30 chevaux de force, et à bord 25 hommes. Leur tirant d'eau sera de 4 à 6 pieds, et leur prix de 125,000 francs.

Ces canonnières sont spécialement destinées à former des lignes d'attaque. L'amirauté doit en avoir un grand nombre; cent d'entre elles coûteront seulement un demi-million de livres de plus qu'un vaisseau de ligne portant une artillerie égale.

8° Bateaux auxiliaires des canonnières qui précèdent. Ces bâtiments, pourvus de roues à aubes, jaugeant 300 tonnes, forts de 100 chevaux, armés de 2 canons, ont pour destination spéciale d'assister les canonnières, de leur donner la remorque en cas de besoin, et de porter les

ordres. Ils seraient en nombre de 1 bateau auxiliaire pour 10 canonnières; ils tireraient comme elles de 4 à 6 pieds d'eau, et fileraient 10 nœuds. 10 bâtiments semblables coûteraient ensemble 3,750,000 francs.

9° Canonnières à grande vitesse. Armement : deux gros canons, jaugeage, 400 tonneaux; tirant d'eau, 8 pieds; vitesse, 10 nœuds; prix, 500,000 francs. Cette canonnière possède éminemment toutes les qualités nautiques pour naviguer au loin par elle-même sur toutes les mers.

10° Grandes canonnières à 4 canons, du genre du *Recruit* et du *Weser*. Elles sont, comme les précédentes, destinées aux expéditions lointaines, et peuvent même servir comme bateaux-poste : leur prix est 625,000 fr.

D'après les prix qui précèdent pour l'ensemble de la nouvelle flotte, on voit, en les comparant, qu'ils reviennent par canon :

Le vaisseau, à	7,500 livres,
La frégate, à	10,000 —
La corvette, à	15,000 —

et ainsi de suite.

La flotte composée de vaisseaux serait donc la plus économique s'il n'y avait nécessité d'employer de moindres navires en diverses circonstances.

Quant au coût total d'une nouvelle flotte de fer telle qu'elle convient en ce moment à la sécurité et à la *domination* de l'Angleterre, elle comprendrait :

1° 10 vaisseaux de ligne armés ensemble de 1,000 canons en batterie et possédant 25,000 chevaux de force motrice, pour le prix total de 7 millions et demi de livres sterling.

2° 10 frégates, à raison de une par vaisseau, au lieu de deux qu'on compte ordinairement, suffiraient en raison de leur puissance. Elles auraient ensemble 500 canons en batterie et 18,000 chevaux de force. Elles couteraient 5 millions de livres.

3° 10 corvettes, à raison de une par frégate au lieu de deux, suffiraient de même, portant 200 canons en batterie, 15,000 chevaux de force motrice, et coutant 3 millions de livres sterling.

Total pour la grande flotte proprement dite : 30 bâtiments, 1,700 canons en batterie, 58,000 chevaux et 15 millions et demi de livres sterling.

A quoi il faut ajouter pour la flotte dite auxiliaire :

10 clippers, à	1,500,000 livres,
10 sloops, à	1,200,000 —
10 bateaux-poste, à	1,000,000 —

soit en tout 30 bâtiments coûtant 3,700,000 livres, et armés de 300 canons.

La force motrice n'est pas indiquée, mais eu égard à leur tonnage de 2,000 à 2,500 tonneaux et à leur vitesse requise de 15 à 16 nœuds, nous croyons que nous devons peu être loin de la pensée de l'auteur du Mé-

moire en l'évaluant à 800 chevaux par bateau. Soit 24,000 chevaux pour les trente.

Il faut ajouter en second lieu :

1° 100 canonnières des côtes portant ensemble 100 canons, mues par 3,000 chevaux et coûtant 500,000 livres.

2° 10 vapeurs assistants armés ensemble de 20 canons, mus par 3,000 chevaux et coûtant 150,000 livres.

Il faut ajouter enfin les deux classes de canonnières à grande vitesse. Si, à défaut d'indication dans le Mémoire, nous en supposons 50 de chaque classe, en évaluant à 100 chevaux la force des premières et à 150 chevaux celle des secondes, nous trouvons 100 bâtiments portant ensemble 300 canons, mus par 12,500 chevaux et coûtant 2,500,000 livres.

En récapitulant, la flotte proposée se compose ainsi :

NUMÉROS.	DÉSIGNATIONS.	NOMBRE DE			PRIX en millions de livres.
		Navires.	Canons.	Chevaux.	
1	Vaisseaux, frégates et corvettes	30	1,700	58,000	15.50
2	Clippers, sloops et estafettes	30	800	24,000	3.70
3	Canonnières et bateaux auxiliaires	110	120	6,000	0.65
4	Canonnières à grande vitesse	100	300	12,500	2.25
	Total	270	2,420	100,500	22.15

Soit en monnaie de France près de 554 millions. Ce nombre n'effraye pas M. Russel. Quand, dit-il, on estime de près la difficulté, on voit qu'elle n'est pas énorme, dans un pays où la marine actuelle coûte 5 millions de livres par an, sans compter une égale somme qui se dépense dans les dock-yards en réparation et construction d'appropriation.

Le Mémoire analysé entre ensuite dans de grands développements sur les économies réalisées dans la conservation de la flotte une fois créée. Le bois, dit-il, se détériore inévitablement. Vous construisez et lancez en temps de paix un splendide vaisseau de ligne; il reste cinq ans inactif dans le bassin de Portsmouth; un beau matin, la guerre éclate, et un message télégraphique ordonne d'armer ce navire qui n'a pas encore servi : il passe au dock, et messieurs les lords de l'amirauté apprennent que, déjà, ses charpentes sont pourries, qu'il faut le réparer, faire un sacrifice imprévu de temps et d'argent, prendre un autre vaisseau, s'il se peut; heureux si le chef des constructions ne découvre pas dans un plus complet examen que le bâtiment est complétement pourri, et qu'il faut proposer sa destruction à l'amirauté. Cela est rare, sans doute, mais non sans exemple.

Ce qui est fréquent, du moins, c'est que la réparation coûte la moitié du prix primitif; que le vaisseau n'est pas prêt au jour des besoins, et voilà, en somme, un des secrets de cet engloutissement des fonds votés, sans que la flotte apparaisse en bon état suffisant d'entretien.

Avec une flotte de fer, rien de semblable à craindre : elle ne se délabre pas, si on a soin de renouveler la peinture à temps voulu. Ce n'est pas à dire, sans doute, qu'elle sera éternelle, mais on pourrait multiplier les exemples de coques de fer vieilles de vingt ans, sans aucune apparence de détérioration, quoiqu'elles aient servi sous tous les climats; il n'a fallu que les peindre et entretenir. C'est beaucoup que d'estimer l'entretien, en temps de paix, de la nouvelle flotte, au centième de sa valeur de construction, soit 5 millions et demi de francs.

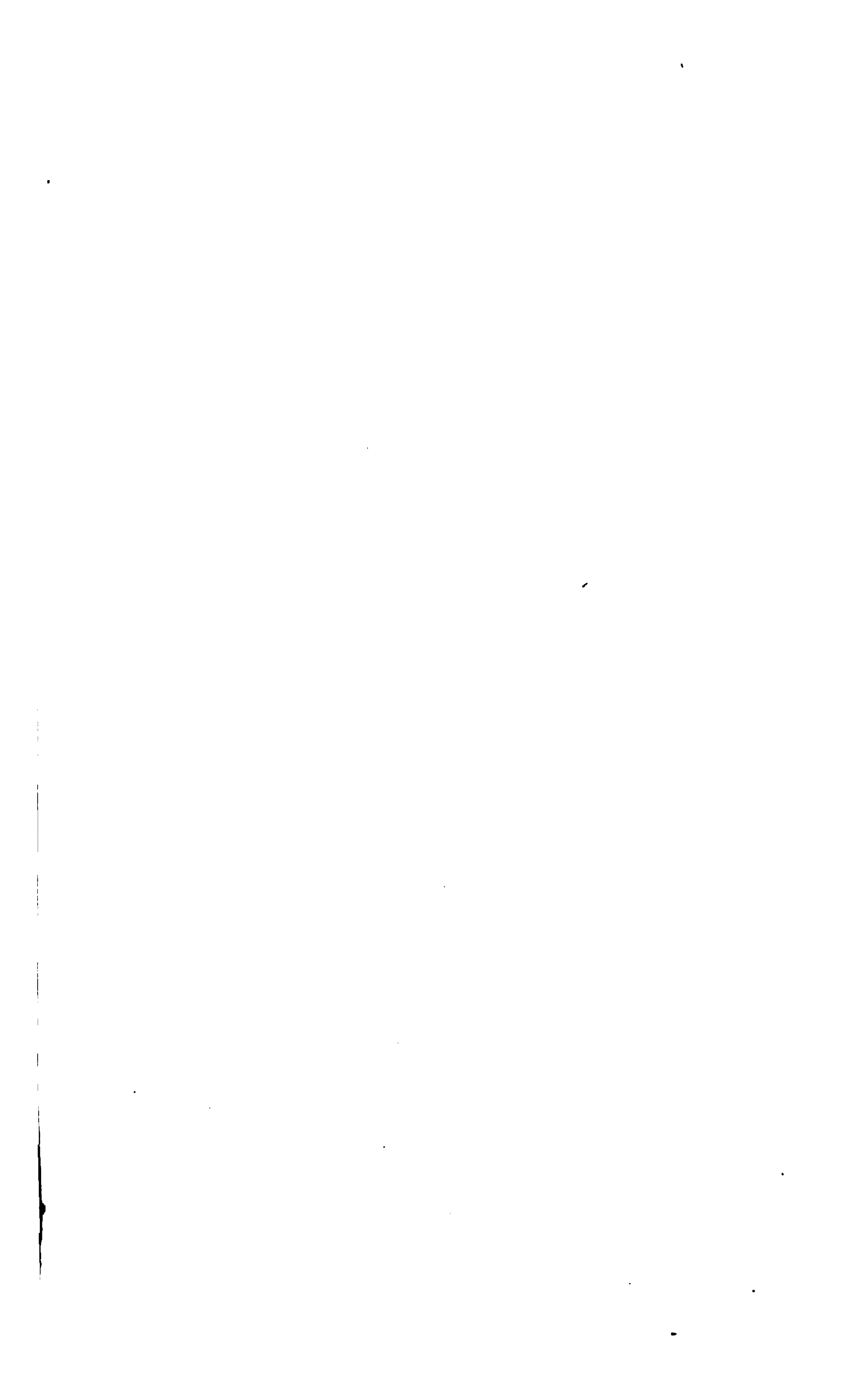
A cette économie d'entretien M. Scott-Russel en ajoute une considérable dans celui du nombre total des matelots, qui, à égale puissance d'artillerie, serait réduit au quart de 85,000 hommes que compte actuellement la flotte anglaise. Pouvant ainsi mieux choisir, le personnel naval s'élèverait en valeur de toute manière, et l'on verrait ainsi le terme de ces mesures de rigueur, que les officiers de marine s'affligent d'employer forcément vis-à-vis leurs hommes pour conserver la discipline. Les fonds votés se répartissant sur chacun en plus gros traitement, on aurait des équipages mieux traités, plus choisis, instruits et laborieux, ainsi qu'il arrive dans les troupes de terre.

Le niveau supérieur de tout le corps scientifique de la marine, y compris les inspecteurs, s'élèverait de même par une conséquence nécessaire.

Enfin, en réduisant le nombre des navires et des hommes, en ayant des bâtiments de nature à durer longtemps, on réaliserait d'immenses économies dans les ports et arsenaux.

Mais, dira-t-on, pour construire la flotte de fer nouvelle, il faudra d'abord créer des chantiers et ateliers avec un matériel nouveau. Non, dit en terminant M. Scott-Russel; car ces ateliers existent tout prêts à travailler dans l'industrie privée; elle a déjà fait ses offres et ses preuves; l'amirauté la connaît, et elle lui a confié sans cesse ses travaux. Il n'est si grand navire qu'elle ne puisse rapidement mener à bonne fin sur la Clyde, la Tamise ou la Mersey, et de tous les points de vue de la question, celle des chantiers de construction est celui qui doit le moins retarder la naissance de la flotte inexpugnable proposée.

Paris. — Typ. de P.-A. Bourdier et Cie, rue Mazarine, 30.
Imprimeur de la Société des Ingénieurs civils.

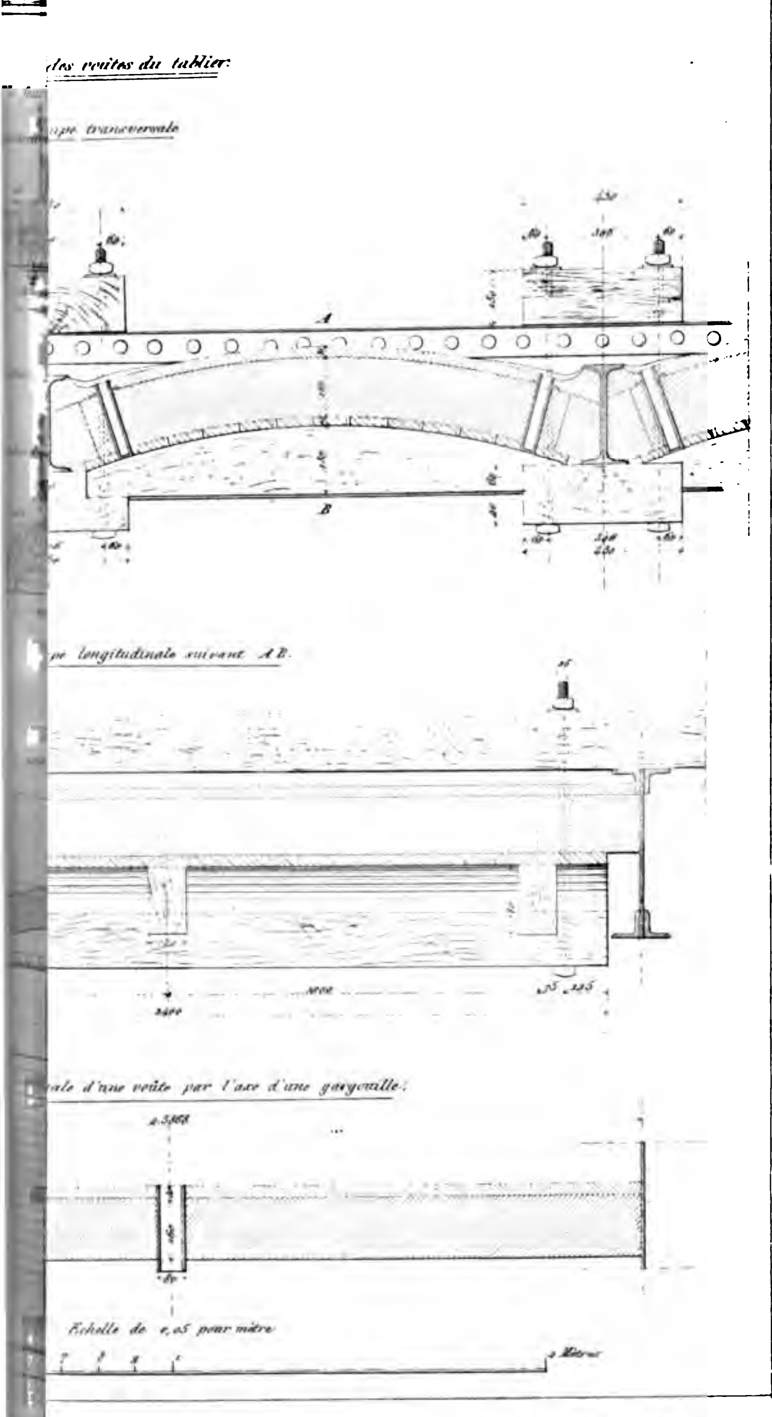


pe longitudi

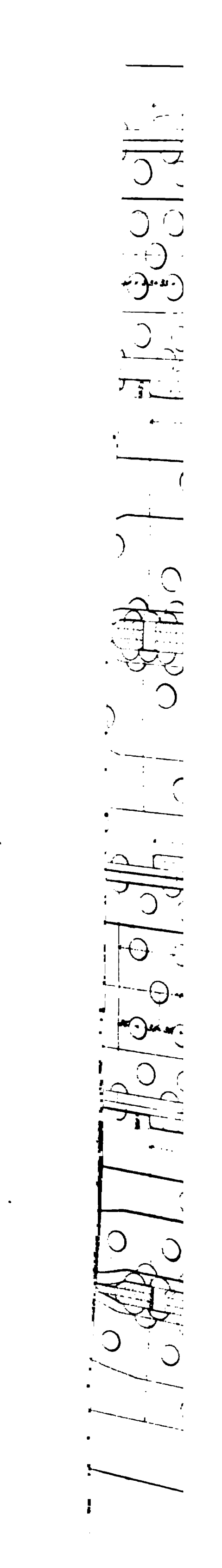
ale d'une ver

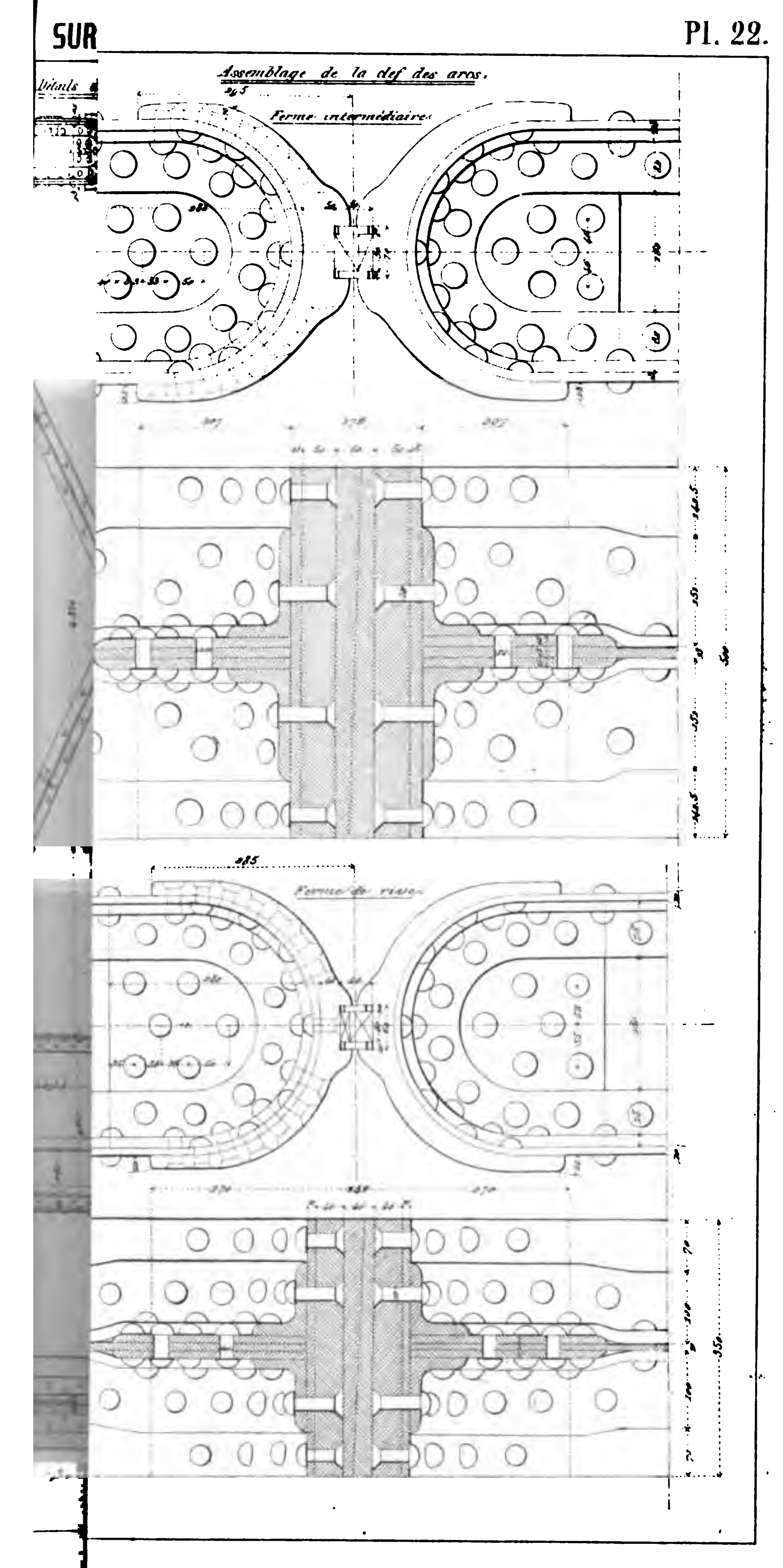
Echelle de

7 8 9



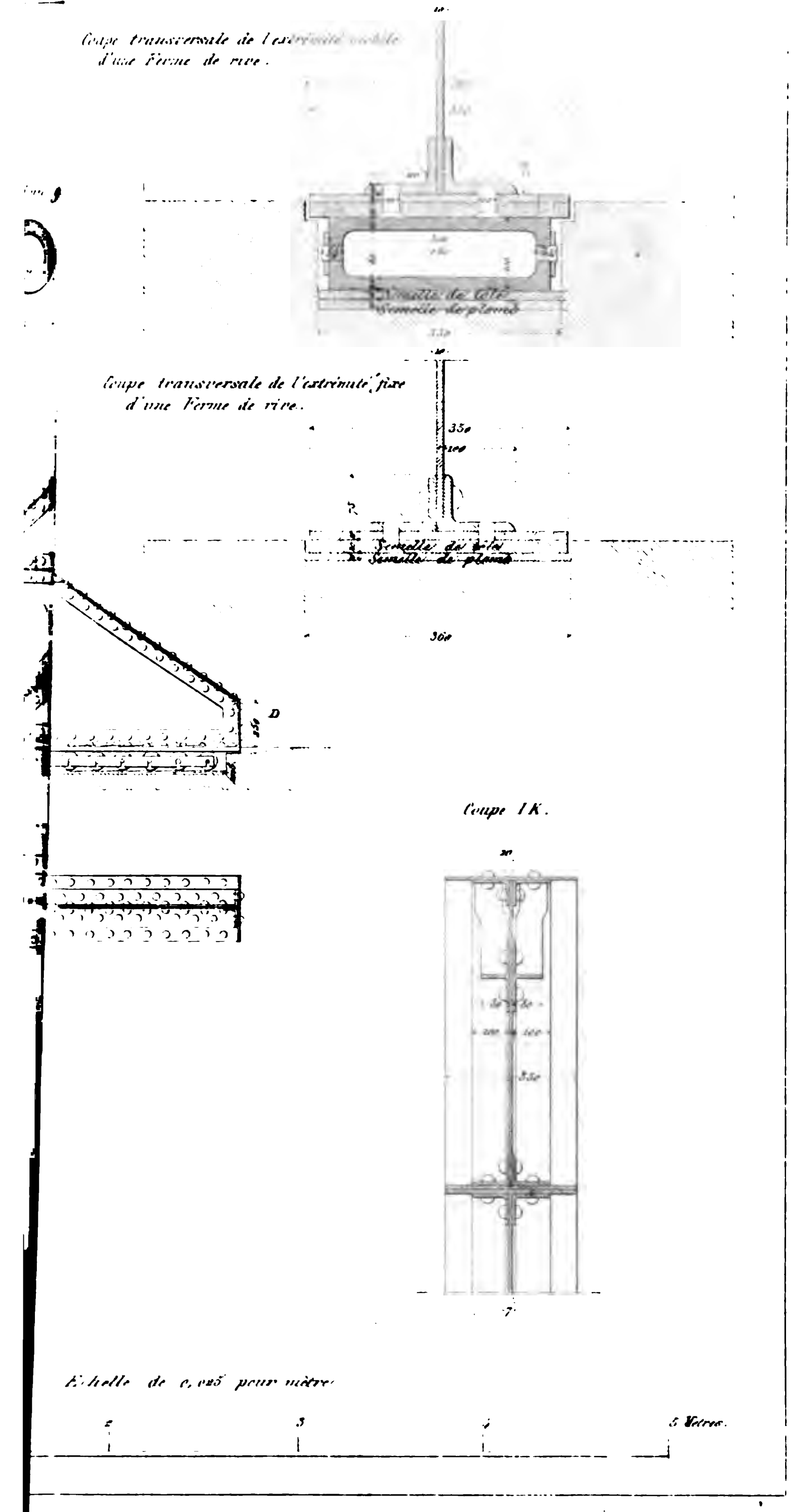
Etablt et impries de E. Noblet, Editeur.





Etabl.t et Imp.rie de E. Noblet, Editeur.

Echelle d



Etabl.t et imp.rie de E. Noblet, Éditeur.



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI, JUIN 1862)

N° 18

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Exposition universelle de Londres ;* nommination des membres du jury, et réunions des membres de la Société pendant leur séjour à Londres. (Voir les résumés des séances des 4 et 25 avril 1862, pages 137 et 147.)

2° *Souscription* pour élever un monument à la mémoire de Robert Stephenson. (Voir le résumé de la séance du 4 avril, page 137.)

3° *Machines employées à élever l'eau dans l'exploitation des chemins de fer*, par M. Chavès. (Voir les résumés des séances des 4 et 25 avril, et 20 juin, pages 137 et 147.)

4° *Visite faite à l'usine de M. Coignet à Saint-Denis.* (Voir le résumé de la séance du 4 avril, page 142.)

5° *Accident arrivé à une houillère des environs de Newcastle*, connue sous le nom de *New-Hartley-Colliery*, par M. Dallot. (Voir le résumé de la séance du 25 avril, page 149.)

6° *Batterie Stevens*, par M. J. Gaudry. (Voir le résumé de la séance du 25 avril, page 153.)

7° *Construction d'un waggon en 11 heures 20 minutes*, destiné à

l'Exposition de Londres. Communication de M. Ermel. (Voir le résumé de la séance du 2 mai, page 155.)

8° *Épreuve au frein du moteur à vapeur de l'établissement de M. Fournet* à Lisieux, par M. Burel. (Voir les résumés des séances des 2 mai et 6 juin, pages 158 et 179.)

9° *Pont de l'Escaut à Audenarde*, par M. Dallot. (Voir le résumé de la séance du 16 mai, page 160.)

10° *De la fabrication de l'acier fondu et de ses applications*, analyse par M. Cahen du Mémoire présenté par M. Bessemer à la Société des Ingénieurs-mécaniciens de Londres. (Voir les résumés des séances des 16 mai et 6 juin, pages 163 à 177.)

11° *De la fabrication des rails en acier et des plaques de blindage*, analyse par M. Cahen du Mémoire présenté par M. *John Brown de Sheffield* à la Société des Ingénieurs-mécaniciens de Londres. (Voir le résumé de la séance du 6 juin, page 168.)

12° *De la résistance de l'acier contenant différentes proportions de carbone*, analyse par M. Cahen du Mémoire présenté par M. Édouard Vickers de Sheffield à la Société des Ingénieurs-mécaniciens de Londres. (Voir le résumé de la séance du 6 juin, page 171.)

13° *De la production des houillères en France*. (Voir le résumé de la séance du 20 juin, page 181.)

14° *Situation financière de la Société*. (Voir le résumé de la séance du 20 juin, page 182.)

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Gérondeau, membre de la Société, un mémoire sur le *Laminage et perçage des rails*;

2° De M. Lacroix, éditeur, un exemplaire de sa *Bibliographie des ingénieurs et des architectes*;

3° De M. Marès, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur le *Soufrage économique de la vigne*;

4° Le numéro de septembre, octobre, novembre et décembre 1861, janvier et février 1862, des *Annales des Ponts et Chaussées*;

5° Les numéros de la 6e livraison 1861 et de la 1re livraison 1862 des *Annales des mines*;

6° Le numéro de février, mars, avril et mai des *Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées*;

7° Le numéro du Bulletin des séances de janvier, février, mars, avril et mai de la *Société impériale et centrale d'agriculture ;*

8° De M. Desnos, membre de la Société, un exemplaire des numéros de mars avril et mai du journal *l'Invention ;*

9° De M. Noblet, éditeur, les numéros de la 6e livraison de 1861, et de la 1re et 2e livraison de 1862 de la *Revue universelle des Mines et de la métallurgie ;*

10° De M. Oppermann, les numéros de janvier, février, mars, avril, mai et juin des *Nouvelles Annales de la construction*, du *Portefeuille économique des machines*, et de l'*Album pratique de l'art industriel ;*

11° De M. César Daly, les nos 10, 11 et 12 de la *Revue d'architecture et des travaux publics ;*

12° Le numéro de décembre de la *Revue des ingénieurs autrichiens ;*

13° De M. Guillet, membre de la Société, une *Note sur un pluvioscope écrivant ;*

14° Le numéro de novembre du *Bulletin de l'institution of mechanical Enginers ;*

15° Les numéros de juillet, août, septembre, octobre, novembre et décembre 1861 du *Bulletin de la Société de l'industrie minérale ;*

16° Les numéros de janvier, février, mars, avril, mai et juin du *Bulletin des Annales télégraphiques ;*

17° De M. Desnos, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur l'*Examen des améliorations proposées à la législature relative aux inventions ;*

18° Le numéro de mars du *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse ;*

19° Les numéros d'avril, mai et juin du *Bulletin de la presse scientifique des deux mondes ;*

20° De M. de Brunet, membre de la Société, une note sur la *destruction de la culée droite du pont d'Asseca ;*

21° De M. Mazilier, membre de la Société, une note sur un *Nouveau système de voie à éclisses-tables entièrement en fer ;*

22° De M. Cahen, membre de la Société, une *Analyse du Mémoire de M. Bessemer, sur la fabrication de l'acier fondu ;*

23° Les numéros d'avril, mai et juin du journal *The Engineer ;*

24° De M. Verdier, membre de la Société, des *échantillons de ses produits;*

25° De M. Cazalis de Fondonce, membre de la Société, un exemplaire d'une *Note sur des formations volcaniques du département de l'Hérault dans les environs d'Agde et de Montpellier, faisant suite aux observations sur les terrains pyroïdes du Salagou et de Neffiez;*

26° *De la Société industrielle d'Amiens*, un exemplaire des n°s 1, 2, 3 et 4 de son *Bulletin.*

27° De M. Burel, membre de la Société, un mémoire *Sur les épreuves au frein du moteur de l'établissement de M. Fournet de Lisieux.*

28° De M. Desmousseaux de Givré, membre de la Société, une note *Sur les meules d'émoulage;*

29° De M. Vinchen, membre de la Société, un exemplaire de ses mémoires sur la *Situation des lignes télégraphiques belges en* 1859, 1860 et 1861.

30° De M. Amédée Burat, un exemplaire de son rapport *Sur la situation de l'industrie houillère en* 1861;

31° De M. Louis Lazare, un exemplaire de ses *Publications administratives;*

32° Le numéro de février, mars, avril et mai du *Bulletin de la Société d'encouragement.*

Les Membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois d'avril :

M. Belanger, présenté comme membre honoraire par MM. Callon, Faure et Tresca.

MM. Boitard, présenté par MM. de Cœne, Faliès et Fromentin.
Calrow, présenté par MM. Flachat, Hervier et Thomas.
De Ridder, présenté par MM. Guérin de Litteau, Michelet et Tronquoy.

Au mois de mai :

M. Courlet, présenté par MM. Guillemin, Minary et Renaud.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1862

Séance du 4 Avril 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. le Président annonce que MM. Alcan, Flachat, Laboulaye, le général Morin, Perdonnet et Trélat, membres de la Société, ont été nommés membres du jury à l'Exposition de Londres, et MM. Bréguet, Decaux, Farcot, Petitgand, Salvétat et Tresca, également membres de la Société, membres suppléants.

L'École centrale des arts et manufactures se propose de publier un *Annuaire* des anciens élèves de l'École; dans ce but, une liste a été déposée à la Société; les membres sont priés de vouloir bien prendre connaissance de cette liste et fournir les renseignements qu'ils peuvent avoir.

M. le Président informe ensuite la Société qu'un monument devant être élevé en Angleterre à la mémoire de Robert Stephenson, il vient d'être décidé en comité que la Société des ingénieurs civils offrirait sa contribution, soit 260 francs, pour l'érection de ce monument, et qu'en outre une liste pour la souscription individuelle des membres serait ouverte au siége de la Société. Le comité anglais préférerait de nombreux souscripteurs à de fortes sommes. Le maximum de chaque souscription est limité d'ailleurs à 10 guinées.

M. Chavès donne communication de son mémoire sur les machines à élever l'eau dans l'exploitation des chemins de fer.

Les machines expérimentées comprennent des pompes à bras et des pompes à vapeur.

Les pompes à bras se subdivisent elles-mêmes en pompes à balancier du genre à incendie, et en pompes à volant et manivelle.

Treize expériences ont été faites sur les pompes à bras et ont donné les résultats suivants :

Un homme dans une journée de 10 heures (dont 5 de travail effectif et 5 de repos), produit avec une pompe à balancier. 75,000^{km}
et avec une pompe à manivelle et volant. . . . . 142,000^{km}

Ou ce qui revient au même :

Un homme produit en moyenne dans un jour de 10 heures	Avec une pompe à balancier : 2^{km}.08 par seconde, ce qui représente une force de 0^{ch}.028 ; et avec une pompe à volant : 3^{km}.95 par seconde, ce qui représente une force de 0^{ch}.053.

On déduit en outre de ces expériences que pour produire un même travail PH, la force à dépenser est d'autant moindre, que la hauteur H, d'élévation de l'eau, est plus grande.

M. Chavès indique les dimensions et vitesses de manivelles qui ont donné les résultats les plus favorables dans les expériences faites avec les pompes à bras.

Passant aux expériences sur les machines à vapeur, M. Chavès les divise en deux groupes principaux, le premier s'appliquant aux machines fixes, et le second aux machines locomobiles.

Les machines fixes étaient généralement à détente au quart, avec chaudières à bouilleurs ou à réchauffeurs ; et les machines locomobiles à détente aux quatre cinquièmes, avec chaudières tubulaires ordinaires ou à retour de flamme.

Les résultats de 74 expériences faites sur ces diverses machines sont résumés dans un tableau, duquel il résulte : que les machines locomobiles élèvent, par chaque kilog. de charbon brûlé, un poids d'eau supérieur de 55 p. 100 à celui qu'élèvent les machines fixes dans les mêmes conditions de hauteur d'élévation.

Dans la formation des moyennes qui concourent au résultat précédent, on n'a conservé que les expériences dans lesquelles le rapport de la force utilisée à la force motrice était à peu près le même pour les deux espèces de machines comparées, et cela en vertu de cette règle : qu'une machine consomme d'autant moins de charbon, par cheval et par heure, qu'elle travaille à une force plus voisine de sa force nominale.

Cette règle résulte de l'examen des résultats obtenus dans les expériences résumées dans le tableau général, M. Chavès ajoute qu'il peut citer à cet égard de nouvelles expériences encore plus concluantes, et d'autant plus qu'elles ont été faites dans des conditions exceptionnelles de précautions.

La première série de ces expériences comprend trois observations de 10 heures de durée chacune, faites sur une machine de 4 chevaux de force nominale et de 6^{m},40 de surface de chauffe.

On en déduit les résultats suivants :

1° En marchant à sa force nominale, la machine consommait par cheval et par heure . . . . 4^{k},86

2° En marchant à une force supérieure, 5^{ch},40, la machine consommait par cheval et par heure. . . . . 5^{k},02

3° Et en marchant à une force inférieure, 3^{ch},00, elle consommait par cheval et par heure. . . . . 6^{k},00

La deuxième série d'expériences comprend deux observations de 5 à 6 heures de durée chacune, faites sur une machine de 15 à 18^{ch} de force nominale, et 28 mètres de surface de chauffe. Le résultat en a été : qu'à la force de 16^{ch},20 qui est très-voisine de la force nominale, la machine consommait sensiblement moins qu'à la force de 22^{ch},60.

M. Chavès conclut de ces observations la justification de la règle qu'il a posée, et d'après laquelle le minimum de consommation correspond à la marche de la machine, à sa force nominale.

Mais il fait observer que la qualification de *force nominale* qu'il a attribuée à une certaine force de ces machines, d'après l'appellation même des constructeurs de ces machines, qui sont réputés pour bons constructeurs, n'offre rien de précis à l'esprit, et qu'il va chercher *à déterminer la force de moindre* consommation, par rapport aux dimensions de la machine.

On tire d'abord des expériences précitées, que la quantité de vapeur fournie par la chaudière par chaque kilog. de houille brûlé va en augmentant tant que la surface de chauffe par cheval n'a pas atteint au chiffre d'environ $1^{m},55$, et qu'à partir de ce point la vaporisation demeure constante.

En outre, il sera montré plus loin qu'une machine rend une portion d'autant plus grande de la force théoriquement correspondante à la quantité de vapeur dépensée, que cette dernière force est elle-même plus grande.

Et on conclut de ces deux faits :

1° Que quand une machine marche à une force correspondante à plus de $1^{m},55$ par cheval, le rendement de la machine augmente avec la quantité de force employée, le rendement de la chaudière ne change pas, et que par conséquent le rendement du système doit augmenter avec la force.

2° Que quand une machine marche à une force correspondante à moins de $1^{m},55$ de surface de chauffe par cheval, le rendement de la chaudière augmente à mesure que la force employée se rapproche davantage de celle qui correspond à $1^{m},55$ de surface de chauffe par cheval; qu'en même temps le rendement de la machine diminue, et que par conséquent le résultat final est dû à deux causes qui agissent en sens inverse.

En combinant ces lois avec les résultats fournis directement par les expériences précitées sur les deux machines de 4 et de 15 chevaux, on obtient un lieu géométrique qui représente toutes ces conditions, et on déduit de la figure que le minimum de consommation correspond à la surface de chauffe de $1^{m},50$ par cheval et par heure.

Comme confirmation de ce résultat, M. Chavès cite trois expériences faites sur une machine locomobile de 6 chevaux, et dans lesquelles, en effet, le minimum de consommation a été obtenu en marchant à la force correspondante à $1^{m},52$ de surface de chauffe par cheval.

La comparaison des machines fixes et des machines locomobiles, au point de vue de la consommation de charbon, a donné pour résultat final un avantage de 55 p. 100 en faveur de ces dernières ; on peut se rendre compte de ce résultat par des considérations théoriques et pratiques sur les modes de formation et d'emploi de la vapeur, dans chacune de ces machines.

Relativement à la formation de la vapeur, M. Chavès cite un certain nombre d'expériences, desquelles il résulte que la quantité d'eau vaporisée par kilog. de houille brûlée est de :

$4^{k},80$ pour les chaudières de machines fixes;

et $6^{k},70$ pour les chaudières de machines locomobiles;

Et que par conséquent les dernières gagnent de ce chef 39 pour 100 sur les premières.

Quant à la manière dont la vapeur est utilisée dans chacune de ces machines, il rappelle que les machines fixes détendent au quart, et les machines locomobiles au

quatre cinquièmes, et il dit qu'en transportant ces nombres, ainsi que les pressions de marche, dans l'équation ordinaire du travail à détente, on en déduit :

Pour la machine fixe : $T'_m = K\,V \times 54{,}4$ (*a*)

Pour la machine locomobile : $T''_m = K'\,V \times 32{,}5$ (*b*)

d'où l'on conclut que si les coefficients K et K' étaient les mêmes, un même volume de vapeur V produirait un travail de 40 p. 100 moins élevé dans la locomobile que dans la machine fixe; et que par suite, et en vertu de ce qui vient d'être dit sur la vaporisation, le travail de 1 kilog. de charbon serait à peu près exactement le même dans chacune des deux espèces de machines.

Donc, si la différence définitivement trouvée de 55 p. 100 en faveur des locomobiles existe réellement, il faut que cette différence se retrouve tout entière dans les valeurs relatives des coefficients K et K'.

Et, en effet, de nouvelles observations sur des machines neuves, l'une fixe et l'autre locomobile, permettent d'établir que dans la machine fixe le coefficient de rendement $K = 0.28$, et dans la machine locomobile $K' = 0.54$.

Et d'ailleurs, d'autres expériences faites sur des machines très-anciennes donnent des valeurs de K et K' un peu moindres que les précédentes, mais ayant entre elles le même rapport.

En reprennant les expressions (*a*) et (*b*), et y transportant ces valeurs de K et K', elles deviendront :

$T'_m = 15{,}3 \times V$ pour machine fixe,

$T''_m = 17{,}5 \times V$ pour machine locomobile;

expressions qui représentent les travaux produits par un même volume de vapeur.

Si l'on introduit dans ces expressions les quantités de vapeur produites par kilog. de charbon, dans chacune des deux espèces de machines, et qui sont :

$4^k{,}80$ pour la machine fixe; $6^k{,}70$ pour la machine locomobile, ainsi qu'il a été dit plus haut, on aura pour les travaux de 1 kilog. de charbon :

$T'_m = 73{,}1$ const. pour la machine fixe;

et $T''_m = 117{,}1$ const. pour la machine locomobile;

d'où il résulterait définitivement une différence de 60 p. 100 en faveur de la locomobile, ce qui est à peu de chose près ce qu'on avait déjà déduit directement des expériences de consommations.

Les deux résultats, coïncidant sensiblement, se confirment donc réciproquement.

M. Chavès fait remarquer que, d'après le résumé d'expériences qu'il a donné, la consommation de charbon était loin d'être proportionnelle au travail à produire. Il a fait, à ce sujet, 32 nouvelles expériences dans le but de déterminer l'influence de la variation de hauteur à laquelle l'eau est élevée, sur la valeur du rapport entre le travail obtenu en eau élevée, et le travail emprunté à l'arbre du volant de la machine.

Les résultats de ces observations ont été les suivants :

Hauteurs d'élévation	7^m, 50	8 à 10^m	11 à 13^m	15 à 20^m	20 à 25^m	25 à 30^m	40 à 45^m	80^m	84^m
Rapports entre le travail utile et le travail moteur..	34 p. 100	38 p. 100	42 p. 100	50 p. 100	55 p. 100	60 p. 100	70 p. 100	84 p. 100	86 p. 100

et ces nombres, représentés graphiquement, forment une courbe parfaitement régulière.

De ces expériences on tire encore les conclusions suivantes :

1° Le frottement des pompes absorbe un travail assez considérable, mais qui paraît être indépendant de la charge;

2° Ce frottement augmente à peu près proportionnellement avec les courses et les diamètres des pistons;

(a) 3° Pour les pompes élévatoires à double effet, avec transmission par courroie et engrenage, il est de 1ch,12 sur 3ch,0 de force motrice, soit. . . 37 p. 100

(b) 4° Pour les mêmes pompes, avec transmission par courroie et balancier, il est de 1ch,60 sur 3ch moteurs, soit. . . . . 57 p. 100

(c) 5° Pour les mêmes pompes, avec transmission par courroie et arbre coudé, il est de 1ch,24 sur 3ch, soit. . . . . 42 p. 100

(d) 6° Pour la pompe à un seul plongeur en fonte, recevant directement le mouvement de la machine, il est de 1ch sur 3ch, soit. . . . 33 p. 100

(e) 7° Pour la pompe à deux plongeurs en bronze, conjugués et à action directe, il est seulement de 1ch,90 sur 13ch,90, soit. . . 14 p. 100

M. Chavès fait observer que dans l'établissement des comparaisons de consommation des machines, le type (e) était exclu de la comparaison, les types (b) et (c) y étaient très-rares, et que c'étaient les types (a) pour les locomobiles, et (d) pour les machines fixes, qui dominaient presque exclusivement.

Il en conclut que dans l'analyse des éléments constitutifs de la différence de consommation, il a pu, sans erreur notable, ne pas tenir compte des différences de système des pompes.

Il termine en faisant remarquer que les conclusions qu'il a tirées de ses expériences sont essentiellement propres aux machines sur lesquelles il a opéré, et que pour permettre de généraliser ces conclusions, il faudrait les confirmer par d'autres expériences faites sur des machines de forces et de formes différentes.

M. le Président remercie M. Chavès de sa communication, en ajournant la discussion à l'une des prochaines séances, de manière que les membres de la Société aient pu prendre connaissance plus complète du mémoire.

M. Richoux fait remarquer que la théorie de la détente dans les machines à vapeur paraît inexacte, car elle arrive à cette conclusion, qu'avec une quantité finie de chaleur on pourrait obtenir un travail infini.

Il rappelle que M. Love, dans son essai sur l'*identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière* (page 95), il est arrivé à cette conclusion, que le travail maximum résultant de la détente d'un gaz est égal à celui obtenu à pleine pression avant la détente. M. Richoux signale un remarquable mémoire de M. Havrez, ingénieur des mines, sur une *nouvelle théorie de la détente frigorifique*, mémoire imprimé dans le numéro de novembre et décembre 1861, de la *Revue universelle de métallurgie*, et qui assigne *au maximum de travail produit par la détente* la plus étendue possible *un travail qui ne saurait dépasser quatre fois le travail fait pendant la pleine pression.*

Les modifications que M. Chavès est obligé de faire subir à la valeur du coefficient K pour rendre compte du travail produit par les différentes machines à détente qu'il a expérimentées, semblent démontrer une fois de plus l'inexactitude des formules généralement admises, alors même que le raisonnement n'indiquerait pas qu'en négligeant dans ces formules la perte de chaleur produite par la détente on a omis de tenir compte d'un élément important.

M. le Président donne ensuite la parole à M. Verrine, qu'il a prié de rendre compte de la visite faite par quelques membres de la Société à l'usine de M. Coignet, à Saint-Denis.

Cette visite, dit M. Verrine, était une sorte de constatation réclamée par M. Coignet, notre collègue, de l'état de conservation de constructions déjà anciennes, et les progrès récemment introduits dans la fabrication des bétons agglomérés.

Il y avait à examiner :

1° La dureté du béton dans les parties de la construction soumises ou soustraites à l'influence atmosphérique ;

2° La salubrité des habitations, constatée par la fraîcheur des murs, par la conservation des papiers ou des enduits, et par le rapport des locataires ;

3° Les fissures produites dans les maçonneries, soit par suite des tassements dans le terrain, soit par la poussée des combles, soit par les retraits même des bétons ;

4° L'état des arêtes vives des fenêtres, des portes, etc., et l'usure des escaliers ;

5° L'aspect général des constructions, au point de vue de la couleur inhérente à la matière ;

6° Les spécimens de toute espèce en service, ou exécutés simplement comme modèles ;

7° Les procédés nouveaux mis en usage pour obtenir un mélange aussi intime, aussi complet que possible, de la chaux et du ciment avec le sable ;

8° Enfin, l'importance de l'usine au point de vue de l'emploi des bétons agglomérés.

Nous avons d'abord visité une petite maison bâtie à Saint-Denis en 1857. Cette maison se compose d'un rez-de-chaussée et de deux étages, avec toiture en voûte de 8m,50 de largeur sur 14m de portée, formant logement mansardé au second.

Les murs, l'escalier, les planchers, le toit sont en béton.

L'épaisseur des murs est de 40cm sur toute la hauteur, celle des plafonds de 22 à 25cm.

Les chambres ne sont ni planchéiées, ni carrelées ; c'est le béton qui sert de carreau. De même la voûte, dont l'épaisseur est de 25cm à la clef et de 40 aux naissances, reçoit directement, sans couverture, les eaux pluviales, qui coulent ensuite dans un chéneau creusé dans la corniche.

Nous avons trouvé cette maison dans un état de conservation très-satisfaisant ; les murs ont extérieurement et intérieurement une très-grande dureté. On ne remarque à leur surface aucune fente ni aucune gerçure. Ils sont secs à l'intérieur, et la teinte uniforme des enduits qui les recouvre prouve qu'il n'existe aucune fissure dans la maçonnerie susceptible de donner passage à l'eau. Les planchers, ainsi que l'escalier, ont acquis une dureté remarquable. Les arêtes des portes et des fenêtres sont bien conservées : les légères écornures qu'on y remarque proviennent, d'après M. Coignet, d'un moulage imparfait, mais non d'altérations causées par l'atmosphère ; dans des constructions d'une certaine importance et d'un certain luxe, il ferait maintenant les parties moulées en pierre de taille rapportée.

La voûte, malgré son poids considérable et sa portée de 8 mètres, est soutenue sans fatigue par des murs qui ont plus de 4 mètres de hauteur et 40 centimètres seulement d'épaisseur. Cela tient à ce que cette voûte, comme l'a fait remarquer M. Coignet, est un monolithe qui n'exerce aucune poussée oblique sur les murs.

L'aspect général de la construction, c'est-à-dire la couleur, est peu agréable à l'œil ; la teinte est sombre et peu satisfaisante. Mais M. Coignet aurait pu mettre un enduit

à l'extérieur, s'il l'avait jugé nécessaire. Cette teinte sombre provient de l'emploi presque exclusif qu'il faisait à l'origine des cendres de houille; il les remplace aujourd'hui par des sables de couleurs claires : ses bétons ont alors une couleur analogue à celle de ces sables.

Nous avons vu des dalles, des pierres, des statues, qui, composées de grès de Fontainebleau, sont tout à fait blanches.

La maison d'habitation de M. Coignet, que nous avons visitée ensuite, a 20 mètres de longueur sur 15 de largeur; elle est partagée en quatre parties égales par deux murs de refend perpendiculaires l'un à l'autre. Cette maison se compose de caves, d'un rez-de-chaussée et de deux étages très-élevés. Elle est couverte par une terrasse horizontale en béton, formant le plafond du second étage; les planchers sont en bois, recouverts d'une dalle monolithe en béton de 6 centimètres d'épaisseur. La terrasse, formée de quatre parties de 7 mètres sur 9, a une épaisseur de 27 centim. en moyenne. Il y a dans l'intérieur de ce plancher des fers double T, de 12 centimètres de hauteur, espacés de mètre en mètre, et reliés entre eux par de légères entretoises. Ces fers sont noyés dans le béton. M. Coignet a fait une expérience qui tendrait à prouver qu'un plancher ainsi composé forme un tout rigide et indéformable. Un plancher de cette nature ayant été chargé de 1,500 à 1,800 kilogrammes par mètre carré, on a observé qu'il ne fléchissait pas au milieu, mais qu'il descendait d'un seul bloc en s'échancrant circulairement dans les angles.

Les murs de cette maison ont des épaisseurs de 60 centimètres dans les caves, 50 au rez-de-chaussée, 45 au premier, et 40 au deuxième. Sur l'observation faite que ces épaisseurs dépassent celles qu'on donnerait à des maçonneries ordinaires, M. Coignet a répondu que cette maison a été construite en 1853, époque à laquelle il avait presque seul foi dans son invention; que toutefois cette confiance n'allait pas jusqu'à lui faire repousser les conseils des hommes compétents, et qu'en donnant à ses murs une grande épaisseur, il n'a fait que se conformer aux données prudentes de son architecte; mais qu'aujourd'hui, pour une construction de cette importance, il n'hésiterait pas à donner une épaisseur inférieure à celle des maçonneries ordinaires.

Les voûtes des caves, qui présentent des courbes très-variées, n'offrent aucun indice de poussée, et l'enduit de chaux qui les recouvre depuis trois ans ne laisse apercevoir aucune fissure.

Nous avons remarqué cependant, sur la table d'une fenêtre qui se trouve au niveau du sol, et sur laquelle peut suinter l'eau de pluie, que le béton y est dénué de toute espèce de consistance. Il est friable, se coupe au couteau comme une masse de sable légèrement durcie; il semble conserver cet état jusqu'à une assez grande profondeur, que nous n'avons pas du reste cherché à apprécier, pour ne pas faire de dégradations inutiles.

Ce défaut local tient évidemment plutôt à une malfaçon qu'à l'humidité, puisque nous voyons les surfaces extérieures conserver leur dureté; mais on conçoit combien la sécurité de la construction pourrait être compromise, si ces malfaçons se produisent dans plusieurs points importants de la construction.

La maison est très-sonore, et principalement la grande cage dans laquelle se trouve l'escalier qui monte jusqu'à la terrasse, et M. Coignet pense que l'emploi du béton aggloméré serait probablement très-favorable pour les grandes salles de réunion, amphithéâtres, théâtres, etc.

Sans nier que l'homogénéité des matériaux puisse avoir une influence favorable sur la propagation du son, nous croyons que dans le cas actuel cette sonorité, qui serait

très-défavorable aux constructions parisiennes, provient plutôt de la grandeur de la cage, de l'absence de meubles, de certaines dispositions acoustiques des surfaces du grand escalier, que de la nature même des matériaux.

En somme, les deux constructions que nous avons visitées et qui ont déjà 7 à 8 ans d'existence sont dans un état de conservation très-satisfaisant, et tout porte à croire que leur durée ne sera pas moindre que celle des bâtisses ordinaires.

On a demandé comment se ferait la réparation des fissures produites par des tassements, retraites, etc., ou des malfaçons dont on reconnaîtrait l'existence après l'achèvement du travail.

M. Coignet n'a pas encore eu l'occasion de faire de réparations ou de reprises à ses travaux; mais, le cas échéant, il procéderait à la manière ordinaire, seulement il emploierait une matière un peu plus riche en chaux, afin d'augmenter l'adhérence des reprises anciennes avec les nouvelles.

On conçoit que les réparations soient moins nombreuses dans les maçonneries en bétons agglomérés qu'en moellons, car les retraits et les tassements ne peuvent s'y produire, par conséquent, parce que la petite quantité d'eau qu'ils contiennent passe tout entière dans la cristallisation de la chaux, et qu'il ne peut y avoir de vides causés dans la maçonnerie par l'évaporation, parce que les vides qui existent entre les matériaux eux-mêmes disparaissent en partie sous l'action d'un pilonnage énergique. On conçoit enfin que les tassements généraux provenant d'un affaissement du sol y soient moins à craindre que dans les maçonneries ordinaires, puisque toutes les parties sont solidaires les unes des autres.

Parmi les nombreuses applications auxquelles se prête l'emploi des bétons agglomérés, nous citerons en première ligne, à cause de leurs avantages particuliers, les cuves à gazomètres, les citernes, silos, égouts, conduites d'eau, fosses d'aisances, bassins, etc., en un mot toutes les constructions souterraines étanches; nous avons pu en examiner plusieurs spécimens. L'emploi du béton aggloméré pour ces constructions étanches permet de diminuer d'une quantité notable les épaisseurs qu'il faut donner aux maçonneries ordinaires afin d'assurer l'étanchéité.

C'est principalement dans les constructions de petites dimensions que l'avantage des bétons se fait sentir; car, la poussée du liquide contenu ou des terres extérieures étant très-faible, une très-faible épaisseur de béton suffit pour y résister, et pour assurer en même temps l'étanchéité.

C'est ainsi que M. Coignet établit dans Paris des fosses d'aisances, dont l'épaisseur est réduite à la moitié de celle des maçonneries ordinaires.

Parmi les autres applications que nous avons examinées, nous citerons encore des trottoirs et leurs bordures, des chaussées établies dans des conditions de solidité et d'économie très-satisfaisantes. Ces monolithes résistent à l'action de la gelée, de la sécheresse, de la pluie, sans altération.

Enfin les pierres sculptées fabriquées avec du grès de Fontainebleau, dont nous avons vu de grands spécimens bien réussis.

Le moulage se fait en caisses avec des moules en plâtre.

Le ciment qui entre dans la composition de la pâte donne à la pierre une couleur noirâtre quand la pièce sort du moule; mais cette couleur disparaît peu à peu, et la teinte devient bientôt celle de la pierre exposée à l'air depuis quelque temps.

Indépendamment des perfectionnements, tels que tours de main, composition suivant la nature des matières, que le temps et des efforts incessants ont apportés dans la fabrication des bétons agglomérés, nous avons à citer le nouveau malaxeur dû à la

collaboration de MM. Coignet et Franchot. Ce malaxeur, qui demanderait une description spéciale, a permis de faire des mélanges aussi homogènes que possible de la chaux avec le sable. De plus, les ruptures, les interruptions de travail qui étaient si fréquentes avec les malaxeurs employés auparavant, ont complétement cessé, et la diminution des frottements a amené une économie considérable de main-d'œuvre, et une production bien plus considérable. Le mélange se fait maintenant en deux opérations : la première consiste à malaxer toute la chaux avec une faible quantité de sable, et la deuxième à malaxer ce premier mélange avec le reste du sable qui doit entrer dans la composition du béton. M. Coignet obtient ainsi une homogénéité de matière beaucoup plus complète.

Nous terminerons ce résumé de la visite que nous avons faite à l'établissement de M. Coignet, en indiquant à nos collègues qu'il ne sera bientôt plus nécessaire pour la rédaction d'un devis, dans lequel figurerait le béton aggloméré, d'engager des pourparlers préalables avec l'inventeur. M. Coignet va donner prochainement des séries de prix complètes; et en effet, cette invention vit et prospère depuis assez longtemps, ses applications sont assez nombreuses, et l'expérience de M. Coignet assez exercée en cette matière, pour qu'il puisse se décider sans inconvénient à combler sous ce rapport une lacune qui était regrettable.

M. Coignet regrette que M. Verrine ait cru devoir insister sur le petit défaut rencontré à la tablette de l'une des fenêtres de sa maison d'habitation; il y a eu là une dégradation accidentelle, provenant de toute autre cause que celle du ramollissement du béton par l'action de la pluie, et le trou a été rebouché avec du mortier de mauvaise qualité.

D'ailleurs les travaux qu'il a exécutés de tous côtés et dans toutes les conditions, soit en dôme ou en terrasse, murs, trottoirs, chaussées, dallages, égouts, citernes, fosses d'aisances, blocs à la mer, murs de quai, etc., ont parfaitement démontré comment les bétons agglomérés résistent aux intempéries et aux causes de destruction ordinaires des constructions.

M. Verrine reconnaît que les toitures en béton de M. Coignet résistent complétement à la chaleur, à la pluie et à la gelée; mais il croit devoir faire remarquer qu'elles sont faites avec plus de soin que les maçonneries courantes, qu'elles renferment davantage de chaux et de ciment, et qu'en général elles sont recouvertes d'un enduit à plusieurs couches.

M. Coignet est très-satisfait de la note qui vient d'être lue; toutefois il croit que ce rapport n'a pas appelé l'attention de la Société sur une série de modèles à petite échelle, destinés à l'Exposition de Londres, et qui représentent des ouvrages de tous genres, montrant l'emploi que l'on pourra faire dans l'avenir des bétons agglomérés dans les constructions des grands travaux d'art et d'hydraulique.

Il est évident, dit-il, que la possibilité de faire à bon marché de la pierre continue, dure comme les meilleures pierres naturelles, imperméable, insensible aux gelées et aux intempéries, devient un élément énergique, puissant pour l'art de construire, sans analogue dans les moyens ordinaires.

Toute construction de bétons agglomérés, quels que soient son cube, sa forme, sa destination, son exposition, habitations, voûtes, toitures, planchers, ponts, digues, barrages, quais, chaussées, trottoirs, égouts, aqueducs, viaducs, silos, travaux à la mer, est un véritable monolithe imperméable, sans joints, sans fissures, sans enduits.

D'où il résulte la possibilité que ne présentent pas les moyens ordinaires, de faire

des voûtes sans poussées, des ponts monolithes, des arcs, des piles et des culées d'un seul bloc.

Les ingénieurs, dit M. Coignet, trouveront comme lui-même dans ce procédé des ressources infinies et inattendues pour tous les genres de constructions.

Ces résultats immenses lui sont tellement démontrés, qu'il ne peut dissimuler qu'il a conçu, au point de vue de l'art, la plus haute ambition possible pour l'emploi des bétons agglomérés.

A l'appui de son dire, il cite un article publié à son insu par le journal l'*Union bretonne* du 27 mars, lequel relate les efforts qu'il a fallu déployer pour la démolition, au bout de sept mois, d'un pont provisoire construit par lui.

Ce pont, biais à 45°, avait six mètres d'ouverture, la flèche était au douzième, l'épaisseur à la clef n'était que de 15 centimètres, il n'avait pas de culées, qui étaient remplacées par des dalles ayant pour but de répartir la poussée sur une grande surface.

« Ce pont avait été construit en moins de quatre jours; il en a fallu six ou sept pour « le démolir. On a essayé tour à tour, et sans grand succès, la pioche, le pic, le coin, « la barre et la masse. Pour réussir, on a dû commencer par faire un travail à la « barre comme pour installer une mine; puis, après avoir ouvert par ce moyen une « sorte de tranchée sur le sommet de la voûte, on a continué l'œuvre de destruction « en faisant sauter, à coups répétés d'une lourde masse, des éclats, ainsi que font les « tailleurs de pierres, quand ils sont obligés de faire tomber par écailles un bloc trop « dur ou trop résistant pour le tranchant de leur ciseau ou de leur marteau. Enfin, « pour rompre les culées, il a été nécessaire de donner plusieurs coups de mines. »

M. le Président remercie M. Verrine de son intéressante communication, et M. Coignet des explications complémentaires qu'il a bien voulu fournir.

Il est procédé ensuite au vote sur la nomination, comme membre honoraire, de M. Belanger, professeur de mécanique à l'École centrale, ancien ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, qui obtient l'unanimité des suffrages.

Séance du 25 Avril 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Manby, remerciant la Société des Ingénieurs civils de son initiative dans la souscription pour le monument à élever à la mémoire de Stephenson.

M. le Président annonce ensuite que le comité a adopté les mesures suivantes :

1° Tous les Membres de la Société des Ingénieurs civils qui se proposent d'aller

étudier l'exposition universelle de Londres, seront invités à se mettre en rapport avec l'un de MM. les Présidents de section, qui indiquera à chacun d'eux les sujets qu'il pourrait y avoir le plus d'intérêt à traiter ;

2° Il sera tenu pendant l'Exposition, deux fois par semaine, dans un local et aux jours qui seront ultérieurement désignés, des réunions auxquelles les Membres présents à Londres seront priés d'assister ;

3° Une somme de 2,500 fr. pourra être employée en subventions de 250 fr. au maximum pour dix Membres de la Société qui voudraient aller à Londres ou y prolonger leur séjour dans le but spécial de faire un rapport sur un sujet déterminé.

La Société a reçu de M. Verdié, l'un de ses Membres, une collection d'échantillons de fer, de fonte, d'acier, et du *produit mixte* de fer et d'acier fondu, inventé par cet ingénieur. Ces échantillons sont déposés sur le bureau.

L'ordre du jour appelle la discussion sur le Mémoire de M. Chavès.

M. Chavès donne des explications complémentaires sur l'application de la formule ordinaire du travail de détente, dont l'exactitude pratique a été mise en doute dans la dernière séance. Il présente un diagramme correspondant à l'une des machines de ses expériences, et duquel il résulte que le travail calculé pour la loi de Mariotte diffère à peine de 5 p. 100 du travail observé.

M. le Président regrette que M. Richoux n'ait pu assister à la séance et développer les motifs à l'appui de son opinion sur la formule de détente. Toutes les expériences semblent bien indiquer que la vapeur ne suit pas la loi de Mariotte ; mais en réalité la différence est assez faible lorsqu'il s'agit de l'évaluation du travail, qui est en général supérieur à celui donné par la formule, surtout pour les machines à enveloppe et à grande détente. Dans son cours de l'École centrale, M. Thomas indique un coefficient de correction 71 et qui augmente avec la détente.

M. Perignon pense que le coefficient de correction doit être plus grand pour les machines sans enveloppe, à cause de la plus forte proportion d'eau condensée qui se revaporise dans la période de détente.

M. Ermel confirme cette opinion. Pendant l'admission à pleine pression dans un cylindre sans enveloppe, on peut évaluer à 1/4 ou 1/5 la vapeur condensée. Cette vapeur donne de l'eau à la température de saturation correspondant à cette pression. L'abaissement de la température, pendant la détente, ne peut avoir lieu sans qu'une partie de cette eau ne repasse à l'état de vapeur ; son travail s'ajoute alors à celui de la vapeur non condensée, ce qui fait que la courbe de détente dans une machine sans enveloppe de vapeur doit être supérieure à la courbe de détente dans une machine à enveloppe de vapeur.

M. le Président cite à l'appui d'un avis contraire l'expérience de M. Hirn, dans laquelle la détente est accompagnée d'une condensation indiquée dans toute la hauteur de la colonne de vapeur, par le trouble qu'on observe au moyen d'ouvertures garnies de glaces.

M. Perignon répond qu'il peut bien y avoir en même temps condensation au milieu de la masse de vapeur qui se détend, et vaporisation sur les parois du cylindre.

M. Ermel ajoute que l'abaissement de température qui produit la condensation observée dans l'expérience de M. Hirn peut être contre-balancée et même surpassée par l'eau condensée pendant l'admission à pleine pression, cette eau formant réservoir de chaleur.

M. le Président rappelle que les expériences du général Morin sont les seules qui, jusqu'à présent, aient permis de contrôler et de rectifier la formule de détente basée sur la loi de Mariotte. Or ces expériences ont démontré que, dans les machines sans enveloppe, la détente se produit à peu près comme l'indique la formule, tandis que la pression décroît moins rapidement dans les autres machines. Pour infirmer ce résultat, des observations nouvelles seraient nécessaires.

M. Ermel, se reportant aux résultats des expériences de M. Chavès, signale la valeur anormale du rapport trouvé par lui entre le volume vaporisé et le volume engendré par le piston ; ce rapport dépasse 2 pour plusieurs machines observées ; il pense qu'un tel résultat ne peut s'expliquer que par des fuites du tiroir ou du piston.

M. Dubied a pu observer des machines dont le crachement était considérable; cette cause suffirait pour expliquer le fait qui vient d'être indiqué.

M. Faure regrette de n'avoir pas eu à sa disposition le mémoire de M. Chavès, et d'être ainsi empêché de prendre part à la discussion. Il demande que, conformément à plusieurs précédents, ce mémoire soit imprimé *in extenso* et distribué à ceux des membres de la Société qui voudront en prendre communication.

M. Brull rappelle que le mémoire contient un grand nombre de faits intéressants observés sur des foyers, des chaudières, des machines, des pompes de différents systèmes. Le but du travail était la comparaison des résultats fournis par les diverses dispositions que présentait chacun de ces appareils. Il y avait donc intérêt à isoler le plus nettement possible tous ces sujets d'étude. Or il semble qu'il y ait un point où cette séparation aurait pu être avantageusement poussée plus loin. Il s'agit de l'eau entraînée par la vapeur. La proportion paraît en être généralement très-élevée, et en calculant le volume de vapeur livré aux machines à l'aide du volume de l'eau alimentaire, M. Chavès a attribué aux machines une perte considérable qui provenait du fait des chaudières. C'est cette influence qui a fourni les coefficients de rendement si faibles que mentionne le mémoire. Elle a dû nécessairement fausser la comparaison des diverses chaudières entre elles, de même que la comparaison des divers types de machines. Le calcul du rendement aurait pu être fait en étudiant, à l'aide d'un indicateur de Watt, les conditions réelles de la consommation de la vapeur.

M. Ermel appuie cette observation, qu'il désirait faire lui-même, pour rétablir la concordance entre les coefficients trouvés par M. Chavès et les résultats ordinaires de la pratique.

M. Chavès répond que, dans son mémoire, il a exprimé le regret de n'avoir pas eu d'indicateur à sa disposition. En second lieu, il ne s'était proposé d'autre but, dans la recherche du coefficient K, que de déterminer la consommation comparée de diverses machines.

M. Dubied engage M. Chavès à continuer son intéressant mémoire par l'étude des diagrammes. Il appelle son attention sur les chiffres qu'il donne dans la comparaison des chaudières fixes et tubulaires, les quantités de vapeur produites par 1 kilogr. de charbon ayant été respectivement de $4^{k}.80$ et $6^{k}.70$. M. Dubied a remarqué que le volume d'air introduit a une très-grande influence sur le rendement des chaudières; celui-ci n'atteint son maximum dans les chaudières à bouilleurs sans réchauffeurs que lorsqu'il y a production abondante de fumée. Dans des expériences faites avec soin, à Mulhouse, on n'a pas trouvé une différence aussi grande entre les deux genres de chaudières; la chaudière fixe à bouilleurs sans réchauffeurs a donné 6.70, et la chaudière tubulaire 7.70. Des chaudières à bouilleurs avec de grands ré-

chauffeurs ont donné un rendement au moins égal à celui des chaudières à tubes. Il ne faudrait donc pas tirer, des résultats de M. Chavès, des conclusions trop générales.

M. Burel dit qu'il a expérimenté récemment, à Lisieux, sur des chaudières ordinaires à réchauffeurs bien installées, et que la production s'est élevée à $8^{k}.51$.

M. Chavès répond qu'il s'est gardé de donner à ses conclusions plus de généralité que n'en comportait le cadre de ses recherches; il a eu soin de faire cette réserve en terminant son mémoire.

M. Perignon désirerait qu'il fût indiqué si les chaudières fixes étaient en feu depuis longtemps, au moment des expériences. Ce renseignement a de l'importance; car, dans ce genre de chaudières, la masse des maçonneries absorbe d'abord une grande quantité de chaleur, tandis que les chaudières tubulaires, au contraire, arrivent rapidement à une production normale.

M. le Président indique que, pour faciliter la suite de cette discussion, le mémoire de M. Chavès sera imprimé et distribué avant son insertion au bulletin.

M. Dallot lit ensuite une note sur l'accident de New Hartley Colliery.

Une houillère des environs de Newcastle, connue sous le nom de *New Hartley Colliery*, vient d'être le théâtre d'une catastrophe qui a coûté la vie à plus de 200 mineurs. La terrible gravité de ce sinistre presque sans précédents dans l'histoire des mines, l'immense émotion qu'il a soulevée, l'importance des questions d'exploitation qui s'y rattachent, les conséquences qu'il aura peut-être pour la législation industrielle de l'Angleterre, enfin les traits d'héroïsme admirable et les exemples de dévouement sans nombre dont il a été la source, nous ont engagé à en mettre les détails sous les yeux de la société.

Comme beaucoup de charbonnages du Northumberland, New Hartley Colliery ne possédait qu'un seul puits, divisé en deux compartiments par une cloison en charpente, qui servait à la fois pour l'extraction, l'aérage et l'épuisement des eaux. Ce dernier service était accompli par une machine de Cornwall, de la force de 400 chevaux. L'extrémité du balancier, pesant 40 tonnes, oscillait au-dessus de l'ouverture du puits, sans que rien fût disposé pour l'arrêter en cas d'accident.

Le 16 janvier, à dix heures et demie du matin, cette énorme masse se brisa en deux, sans cause apparente, juste à l'endroit de l'axe. La moitié d'avant alla d'abord frapper le chevalet, sans l'avarier notablement, paraît-il, rebondit ensuite contre la paroi du puits et alors se précipita au fond, entraînant dans sa chute toute la charpente de la fosse.

Un concours inouï de circonstances malheureuses a contribué à donner à l'accident le maximum de gravité dont il fut susceptible. On était en train de changer les postes. Tous les hommes du poste qui commençait étaient déjà descendus. Mais seize hommes seulement du poste précédent avaient été remontés, de sorte qu'il se trouvait alors dans la mine le plus grand nombre d'ouvriers possible, 149 hommes et 50 enfants. Au moment de la rupture du balancier, 8 ouvriers remontaient dans la cage qui rencontra l'avalanche. Quatre de ces malheureux furent précipités dans le puits. Cependant la masse des débris s'était subitement arrêtée. A quelque distance au-dessus, la cage restait suspendue, deux des chaînes ayant résisté comme par miracle. L'un des mineurs qui avaient échappé aux effets du choc, Thomas Watson, trouva l'énergie de descendre auprès de ses camarades en s'aidant du câble. Deux respiraient encore. Enfin, à onze heures du soir, des secours purent venir du dehors et trois hommes furent ramenés au jour, vivants, mais à toute extrémité.

Ce n'était là que le prologue du drame; 199 ouvriers étaient emprisonnés au fond de la mine. Entre eux et les travailleurs qui pendant plus de dix jours allaient dépasser la mesure des forces humaines, et braver sans relâche tous les genres de mort, d'abord pour tenter de les sauver et ensuite pour conquérir leurs cadavres, il y avait un immense amas de matériaux de toute nature, comprenant une partie du muraillement du puits. Comme nous l'avons dit, cette masse s'était arrêtée dans sa course. Si elle fût tombée quelques mètres plus bas, elle débouchait l'orifice d'une galerie, communiquant par une cheminée munie d'échelles avec la partie inférieure des travaux où tous les mineurs étaient réunis; de sorte que les conséquences du désastre se fussent bornées à la mort des 5 hommes qui avaient été frappés en remontant dans la cage.

Il fallait se frayer passage à travers dix mètres de décombres, avant d'atteindre la galerie qui devait permettre de parvenir jusqu'aux captifs. La première nuit fut employée à étrésillonner les parois du puits. Ce n'est que le 17 au matin qu'on put commencer à déblayer. Cette opération était entourée de difficultés immenses. Le sol qui portait les travailleurs pouvait à chaque instant s'abîmer sous leurs pieds. La nature même des débris était un des plus sérieux obstacles. Deux hommes, une corde passée autour du corps, étaient employés à les dégager avec des crics et des leviers. Six autres, suspendus au-dessus d'eux sur un échafaudage volant, les aidaient au moyen de treuils. Cette brigade était changée toutes les heures. Tous les mineurs du district étaient accourus de plusieurs milles à la ronde. Les volontaires s'offraient en foule, et l'on choisissait l'élite. Une circonstance les encourageait puissamment. A travers l'obstacle qui les séparait de leurs camarades, ils entendaient le bruit particulier que les mineurs font en travaillant, et ils comprenaient que de leur côté les prisonniers étaient à l'œuvre. Ils vivaient et avaient conservé leur énergie, puisqu'ils joignaient leurs efforts à ceux des sauveteurs pour accélérer leur délivrance.

Les hommes expérimentés qui dirigeaient le déblaiement, sans partager complétement ces illusions, calculaient que les mineurs ne pouvaient être noyés par les eaux dont le niveau connu était au-dessous de la galerie de retraite à laquelle la cheminée donnait accès. On savait que les enfants avaient emporté des provisions. D'ailleurs il y avait les chevaux comme dernière ressource. La lumière non plus ne devait pas manquer. Restait la ventilation. Mais l'on espérait qu'elle n'était pas entièrement interrompue, et l'on se rassurait en pensant que la houillère fournissait très-peu d'hydrogène carboné.

Dans la soirée du 18, une partie des parois du puits s'éboula, et faillit ensevelir les travailleurs. Le balancier dans sa chute avait arraché un cuvelage. Les plats-bords étrésillonnés qu'on avait mis à la place cédaient sous la poussée des terres mouvantes. On fut forcé de les décharger en déblayant derrière eux. Un accident semblable se produisit dans la journée du 19. Ainsi la grandeur de l'obstacle s'accroissait sans cesse, et l'on était forcé de perdre un temps précieux à consolider le puits, pour ne pas sacrifier de nouvelles victimes. Les prisonniers en étaient à leur cinquième jour de confinement, et depuis plus de vingt-quatre heures aucun bruit ne venait d'eux.

Le 20 janvier, on crut approcher du terme. Des chutes de matériaux éclaircissaient la voie, et le puits semblait près d'être dégagé. Mais le soir même, un fait d'effrayant augure se produisit. Un ouvrier qui s'était engagé au milieu des décombres fut retiré presque asphyxié, et l'on reconnut la présence de l'oxyde de carbone. Ce gaz provenait d'un foyer d'aérage placé dans la galerie vers laquelle les

efforts étaient dirigés. A partir de ce moment, tout espoir raisonnable parut détruit.

Cependant une dernière lueur subsistait encore. On suggéra qu'en raison de sa légèreté même, l'oxyde de carbone n'avait pu descendre dans les travaux et que par conséquent les captifs, ou du moins une partie d'entre eux, avaient pu l'éviter en battant en retraite. Avec une si faible chance de succès et de tels dangers à courir nul ne songea à abandonner le sauvetage, et tant d'héroïsme faillit être fatal. Le 21 au matin, 4 hommes furent retirés privés de sentiment, et l'un d'eux ne revint que difficilement à la vie. Il fallut, avant de continuer, placer dans le puits un nouveau diaphragme pour rétablir la ventilation. Enfin le lendemain, 22 janvier, dans l'après-midi, on parvint à pénétrer dans la galerie. On trouva près de l'entrée quelques outils qui avaient été employés par les pauvres mineurs pour travailler à leur délivrance, comme en témoignaient les fragments de bois répandus à l'entour. Un brave homme, nommé Adam, osa avancer malgré le mauvais air qui l'étouffait et découvrit l'affreuse vérité. D'abord, près du fourneau, deux cadavres, les membres contractés, un contre-maître et son fils qui avaient lutté jusqu'à la fin. Puis, plus loin, la foule des cadavres gisant à terre les traits placides, comme si la mort les avait surpris au milieu du sommeil.

Du 22 au 25 l'on travailla sans relâche à rétablir la ventilation, à consolider les parois de la fosse, à extraire les décombres et à agrandir la communication avec la galerie pour en retirer les cadavres. Au prix de combien d'efforts et de dangers, nul ne peut le dire; et c'est un véritale miracle qu'aucun travailleur n'ait péri. Citons ici le nom de Coulson, le maître puisatier, qui pendant ces onze mortels jours dirigea le sauvetage avec un dévouement indomptable. C'est grâce à lui sans doute qu'on n'a pas eu un plus grand nombre de morts à déplorer.

Le samedi 25, les 199 cadavres furent amenés au dehors de la mine.

En quelques jours l'Angleterre a levé sur elle-même une contribution de vingt mille livres[1] pour secourir les 407 veuves, orphelins, vieillards infirmes, qui restent privés de leurs soutiens. Ce qui révolte l'opinion publique, c'est que le sinistre n'est pas un de ces désastres échappant à la prévoyance humaine, mais la conséquence fatale d'une méthode d'exploitation éminemment dangereuse, contre laquelle la science a toujours protesté. D'un bout à l'autre de la contrée, une agitation a surgi contre le système d'un seul puits et de toutes parts on invoque l'intervention de l'État. On va bien plus loin encore. On prend une à une les différentes causes qui ont contribué à amener un résultat si funeste, et à propos de chacune d'elles une réforme radicale est réclamée. Plus de balanciers en fonte, plus de ces masses colossales dont nul ne peut sonder les entrailles et qui rompent à l'improviste, même quand leurs proportions sont irréprochables, même quand le fondeur a épuisé toutes les précautions de son art. Plus de foyers brûlants, sources intarissables d'explosions, d'incendies, d'asphyxies, dans des mines de combustible, dont la structure est en charpente, qui sont remplies de gaz détonants, irrespirables, où les poitrines n'ont jamais assez d'air. A la tête du mouvement sont les mineurs. Population laborieuse, honnête, héroïque quand il le faut, le dernier événement l'a assez montré, ils se plaignent du peu de cas qu'on fait de leur vie et reprochent amèrement à la société de leur dénier sa protection en échange des services si indispensables qu'ils lui rendent. Ne craignant pas d'aborder le terrain économique, ils rappellent l'opinion d'un mineur célèbre, George Stephenson, qui a toujours soutenu que le percement d'un large

[1] Cette somme a été depuis plus que doublée.

puits, la construction et l'entretien si dispendieux de la cloison en charpente, coûtaient davantage que le percement de deux puits jumeaux d'un moindre diamètre, sans même tenir compte de l'évidente facilité qu'ils apportent au service d'extraction. Ils affirment qu'à New Hartley Colliery la dépense d'un second puits n'eût pas dépassé 2,000 livres. En regard, ils placent l'impôt sanglant que tous les ans la mort prélève sur eux, l'immense perte en capital qui résulte pour le pays de la destruction de tant d'activité humaine. Ils concluent avec une logique difficile à réfuter, qu'il y a là une question appelant au plus haut point la sollicitude de la communauté et l'attention de la loi.

Ces arguments sont exposés dans des meetings réguliers, sans l'ombre de désordre, présidés par de simples mineurs, où ils décident comme conclusion pratique d'adresser une pétition aux deux chambres du Parlement pour la nomination d'une commission spéciale, chargée de faire une enquête sur les accidents des houillères, en vue de découvrir un moyen d'éviter le renouvellement d'aussi horribles calamités. Dans leur opinion, ajoutent-ils, l'extraction ne devrait être autorisée dans aucune houillère avant le percement de deux puits indépendants pour pourvoir à la sûreté des ouvriers.

Nous le répétons, le public accueille ces demandes avec faveur. On sollicite instamment des prescriptions législatives ainsi qu'un contrôle sévère, et l'Angleterre paraît disposée en ce moment à se soumettre au régime de la réglementation dans toute sa plénitude. Le jury d'enquête exprime un vœu en ce sens dans son verdict, et le secrétaire d'État de l'intérieur, Sir George Gray, donne des signes d'adhésion à ces tendances. Ne craignons pas de le dire hautement, il est extrêmement désirable que le principe de la liberté industrielle sorte victorieux de la lutte, comme il l'a déjà été après la fameuse enquête de 1847 sous le même ministre. Loin de nous la pensée que rien ne soit à faire. Bien au contraire, quand on voit que trois des plus importants charbonnages du Northumberland sont exploités avec un simple puits, on ne peut s'empêcher de penser qu'il existe un mal appelant un remède prompt et efficace. Mais ce remède, ce n'est pas dans la réglementation que nous voudrions le voir chercher. Nous en savons trop bien les inconvénients pour y placer grande confiance, et nous croyons que le principe de la responsabilité possède une bien autre valeur. Nul doute, la question sera étudiée avec toute l'attention et la maturité qu'elle réclame. La première agitation, si justifiée par le récent désastre, une fois calmée, l'opinion réfléchira et se laissera éclairer par les hommes compétents. L'Angleterre connaît mieux que personne les bienfaits de la liberté, et elle ne l'abandonnera pas sans tourner la tête.

M. Faure a entendu avec beaucoup d'intérêt la première partie de la note de M. Dallot, consacrée à la monographie de l'accident. Mais vient ensuite l'examen des moyens proposés comme remède à la situation actuelle. Cette seconde question est grave, et M. Faure pense qu'il ne conviendrait pas de s'y engager d'une manière générale.

M. Goschler partage cet avis; ainsi parmi les mesures indiquées dans la note de M. Dallot, l'établissement de deux puits serait souvent impraticable.

M. Dallot rappelle que les conclusions de sa note sont précisément contraires à la réglementation. Il demande que le remède s'appuie sur le principe de la responsabilité, qui lui paraît beaucoup plus efficace.

M. Faure pense qu'il n'y avait qu'une chose à dire sur l'accident : c'est qu'il est arrivé parce qu'on avait un système d'exploitation imparfait.

M. Goschler confirme cette observation. On n'établit plus aujourd'hui de machines

a balancier que sur les puits d'épuisement et non sur ceux d'exécution. Quant à la question de réglementation, elle devrait être écartée ; car ce moyen est impuissant pour éviter le plus grand nombre des accidents dont l'imprudence des ouvriers est la cause la plus fréquente.

M. le Président observe que si le mémoire de M. Dallot n'eût eu pour objet aucune considération technique, sa lecture n'eût point été à sa place à la Société des ingénieurs civils. Il remercie, au contraire, M. Dallot de s'être préoccupé de ces contradictions, et il l'invite à compléter son travail à la suite d'une conférence dans laquelle il pourra s'entendre avec MM. Faure et Goschler.

M. J. Gaudry donne ensuite communication d'une note sur la *batterie Stevens*.

Après le *Monitor* et le *Merrimac* dont la célèbre lutte en Amérique occupe tous les esprits, va venir la *batterie Stevens*, nouvel engin formidable de bataille navale qui s'achève à New-York, et sur laquelle M. Gaudry a pu recueillir quelques détails descriptifs qui auront sans doute leur intérêt d'actualité.

Il rappelle d'abord que l'idée de ces steamers, dits inexpugnables, est loin d'être étrangère à l'Europe. Dans le mémoire de M. Scott-Russel sur les flottes en fer dont la Société des ingénieurs civils a entendu la reproduction en français, le célèbre constructeur du *Great-Eastern* base la proposition de sa flotte en fer sur ce fait établi, qu'avec les projectiles actuels de l'artillerie un engagement entre deux vaisseaux de ligne en bois ne peut plus être qu'une affaire de quelques minutes, terminée par l'anéantissement de l'un des combattants, sinon de tous deux. Même à terre, ajoute M. Russel, rien ne résiste aux nouveaux projectiles, le granit lui-même a besoin d'être garni d'acier.

Il fallait donc, pour rétablir l'équilibre entre l'attaque et la défense, imaginer de nouvelles forteresses fixes ou flottantes derrière lesquelles on pût affronter l'artillerie ennemie, sinon avec une invulnérabilité absolue (problème difficile), du moins avec des chances non pires qu'autrefois.

M. Scott-Russel rapporte à l'empereur Napoléon le mérite de l'avoir compris le premier d'une manière pratique en faisant construire les canonnières et batteries blindées à vapeur qui ont servi dans la guerre de Crimée. Depuis, les ingénieurs ont inventé une multitude de forteresses flottantes plus formidables les unes que les autres, à mesure que l'artillerie perfectionnait ses moyens de destruction. On ne sait vraiment ou s'arrêtera cette lutte d'inventions meurtrières. Après la *Gloire* et le *Warrior*, ainsi que leurs successeurs dans les deux marines rivales, après la citadelle flottante de Rennie, qui n'est encore qu'un projet, viennent de paraître, chacun dans son genre, les deux navires en ce moment si célèbres, le *Merrimac* et le *Monitor*, qui ne sont que l'avant-garde de flottes nouvelles toutes prêtes, dit-on, déjà connues par le nom de leurs navires et au milieu desquels la *batterie Stevens* est dès à présent classée.

C'est un immense bâtiment à vapeur de 6,000 tonneaux, 128 mètres de long, comparable au *Great-Eastern* pour sa grande puissance motrice, appelé à prendre une vitesse jusqu'ici sans égale, immergé jusqu'à son pont comme le *Monitor*, comme lui armé d'un éperon sous-marin, n'offrant aux projectiles ennemis que des surfaces fuyantes et ne montrant au-dessus de l'eau que les batteries proprement dites. Celles-ci, au nombre de deux, munies chacune de quatre formidables canons, ne sont pas des tours à pivot comme sur le *Monitor*; on les compare mieux aux redoutes quadrangulaires des défenses terrestres que forment des talus en pente. Ces talus, comme la coque du navire, sont cuirassés de fer épais.

Ne s'attachant qu'au navire considéré au point de vue nautique, M. Gaudry indique

que la coque a, comme celle attribuée au *Monitor*, une forme exacte de navette, presque dépourvue de flancs parallèles, effilée en *façons* depuis le milieu jusqu'aux extrémités. Le pont est à fermeture hermétique; des machines spéciales ventilent l'intérieur. Si on considère la section transversale de la coque avec ses redoutes à talus, on voit qu'elle figure à peu près deux triangles isocèles tronqués parallèlement à leur base et s'appuyant respectivement par ces bases.

A l'intérieur, la coque est divisée par des cloisons transversales en cinq grands compartiments étanches. A l'avant, la cloison est telle, que le bâtiment ne soit pas en danger si l'éperon se brisait lui-même contre un autre navire plus inexpugnable que lui.

Les chaudières et la machine, celle-ci en arrière des premières, occupent le milieu du bâtiment sur près de 40 mètres de longueur et le lestent de manière à maintenir son horizontalité. Le bâtiment n'a pas de mâture, rien ne s'élève au-dessus de l'eau que les batteries avec leurs canons pouvant tout balayer autour d'eux, et la cheminée des chaudières qui a 3^{m},61 de diamètre.

Le propulseur est une paire d'hélices latérales à quatre branches, placé vers l'arrière en un point de la coque où l'effilement est tel, que les hélices et leur défense ne dépassent pas la maîtresse section du bâtiment.

Les hélices sont commandées, en croisant leur pas, par une machine à vapeur à huit cylindres fixes horizontaux formant deux groupes dos à dos. Chacun de ceux-ci, pour une hélice, a deux pompes à air, deux condenseurs et un arbre à quatre coudes venus de forge, qui se partagent également la circonférence. Ces machines sont à haute pression (5 atmosphères), à grande vitesse (80 tours), et il faut qu'elles soient construites avec une bien grande solidité pour supporter non pas seulement leur propre travail, mais le choc formidable que doit frapper l'éperon du navire et dont celui-ci doit évidemment éprouver le contre-coup. Comme indication de la force des organes, nous relaterons les arbres porte-hélice qui ont 0^{m},45 de diamètre.

Quant à la force motrice des deux quadruples machines, si, leur supposant une pression de vapeur finale comparable à la pression finale ordinaire des machines marines, nous leur appliquons la formule ordinaire $T = \frac{D^2 c n}{0,59}$ par laquelle on évalue le travail en chevaux nominaux de 200 kilogrammètres sur le piston et dans laquelle D, C et *n* sont les diamètres course et nombre de tours du piston, nous trouvons que chaque cylindre à $T = \frac{1,12^2 + 1,06 + 80}{0,59} = 200$ chevaux en nombre rond, soit 1600 chevaux nominaux, pour la machine entière, suivant l'évaluation française. Mais bien autres sont les évaluations américaines qui ne parlent de rien moins que de 8500 chevaux effectifs. Pour les contrôler, il faudrait connaître, outre la pression des chaudières qui est de 5 atmosphères, l'étendue de la détente.

Outre les 8 cylindres actionnant les hélices, il y a ceux des machines auxiliaires pour la condensation, l'alimentation, la ventilation, l'épuisement et les manœuvres qui constituent un ensemble d'engins mécaniques jusqu'ici sans exemple à bord d'un navire.

Les chaudières sont peu connues; on sait seulement qu'elles constituent dix corps distincts en une seule batterie sur 23 mètres de long, et qu'elles sont à deux retours de flamme par galeries.

Suit un résumé des principales dimensions qui ont pu être recueillies sur la batterie Stevens

Longueur totale		127m,60
Largeur au maître bau		17 63
Creux sous le pont		6 40
— sous les batteries		7 30
Tirant d'eau non armé		4 86
— en état de combat		6 40
Poids des machines	548 ton.	
— chaudières	266	
— de la coque	1477	
— du blindage	2000	en nombre rond... 6000 ton.
— de l'artillerie	198	
— du charbon	900	
— divers	600	
Section résistante du navire		74mq,52
Longueur de la machine		15m 80
— des chaudières		23 00
— des arbres porte-hélice		56 00
Diamètre d'arbre porte-hélice		0 45
— des cylindres moteurs		1 12
Course —		1 06
Nombre de tours proposés		80
Pression de la vapeur		5atm.
Surface de chauffe effective		2394mq
Force effective espérée		8600ch. v.

MM. Calrow, Boitard et de Ridder ont été reçus membres de la Société.

Séance du 2 Mai 1862.

Présidence de M. Ch. Callon, *vice-président.*

M. Ermel demande à la Société la permission de lui communiquer les quelques renseignements qu'il a reçus de M. Wurgler, ingénieur civil, ancien élève de l'École centrale, actuellement agent réceptionnaire à Openshaw, près de Manchester, chez MM. Ashbury et Son, constructeurs de waggons, sur l'édification, en 11 heures 20 minutes, d'un véhicule à marchandises de 1re classe, destiné à l'Exposition de Londres.

Ce waggon a été construit, non comme un modèle d'exécution, mais simplement comme un exemple de promptitude d'exécution. Dès le matin du 25 mars 1862, jour fixé pour la confection de ce waggon, un grand nombre d'ingénieurs de Londres, de Manchester, etc., étaient présents dans les ateliers de MM. Ashbury et Son, pour assister à ce travail très-curieux.

Toutes les pièces de ce waggon ont été faites à l'usine; excepté les ressorts, qui venaient de Sheffield, MM. Ashbury et Son n'en fabriquant pas.

Pour rendre plus claire l'indication du temps qu'il a fallu pour la construction des différentes parties du waggon, M. Ermel croit utile de séparer en différents paragraphes les résultats observés.

1° *Travail du bois.*

7h.15′ du matin. On commence à débiter le bois exigé pour la charpente du waggon; il fut extrait de cinq pièces de bois de teak en 43 minutes.

Il a fallu 1h.26′ pour débiter dans les pièces de sapin toutes les planches nécessaires à la couverture, au plancher et aux côtés du waggon.

Les machines mirent 2h.46′ pour raboter, rainer, percer et faire les tenons et les mortaises.

Enfin, le corps du waggon, consistant en 305 pièces de bois distinctes, plus la peinture et le vernis, demanda à 38 ouvriers un travail collectif de. . . . 257h.30′.

2° *Grosses forges.*

7h.15′. Chargement des fours de mazéage avec la fonte destinée à reproduire le fer nécessaire aux bandages.

8h.40′. Ce fer passe sous un marteau frappé de front.

8h.53′. Elle est chargée dans le four à puddler.

9h.40′ à 11h.15′. Passage du fer produit sous le pilon.

11h.20′. Chargement du four à réchauffer.

12h.10′. Passage sous le laminoir de la première barre pour bandage.

12h.31′. Les quatre barres pour bandages sont coupées de longueur et cintrées.

7h.15′. Chargement d'un four à puddler avec le fer nécessaire à la construction des essieux, des roues et autres fers exigés par le travail.

9h.15′. Laminage de la première barre de petit fer pour rais, et envoi de cette barre aux petites forges.

9h.50′. Repassage des essieux bruts dans le four.

11h.15′. Forgeage du premier essieu.

11h.30′. *Id.* du deuxième essieu.

12h.55′. Achèvement du travail des grosses forges.

Ce travail, se composant de 79 barres de fer de 30 dimensions différentes, qui exigèrent quinze changements dans les petits-mill, dura 5h.40′, et employa 111 hommes et enfants, donnant collectivement un travail de. . . . , ... 368h.35′.

3° *Petites forges.*

9h.15′. La première barre pour les rais des roues arrive aux petites forges. Les barres de fer nécesaires pour les jantes des roues et les autres ouvrages furent livrées successivement.

9h.51′. Cintrage pour la première jante et soudage du premier rai.

11h.46′. La première roue est terminée brute.

12h.20′. La quatrième roue est terminée brute.

12h.39′. Soudage du bandage de la première roue.

12h.50′. *Id.* *id.* de la quatrième roue.

La totalité du travail du fer forgé, exigé pour le corps du waggon, tels que plaques

de garde, tiges des tympans, diagonales, angles droits, chaînes d'accouplement de sûreté, etc., nombrant 171 différentes pièces, furent terminés à 2h.45′ par 78 hommes, donnant un travail collectif de. . . . . 118h.

Les 342 boulons et écrous de différentes espèces furent forgés et taraudés en 2h.30′ par 38 hommes et enfants, donnant un travail collectif de. . . . . 41h.30′.

4° *Tournerie.*

11h.20′. Montage sur le tour du premier essieu.

11h.35′. Montage sur le tour du deuxième essieu.

3h.05′. Achèvement du tournage des deux essieux et de l'emplacement des clavettes.

1h.27′. Tournage de la première roue et percement de la mortaise pour la clavette.

2h.23′. Achèvement du tournage des trois autres roues.

3h.12. La première paire de roues, prête avec ses bandages, est placée sur son essieu et envoyée au tour à 3h.14.

4h.14′. La seconde paire de roue, prête avec ses bandages, est placée sur son essieu et envoyée au tour à 4h.16.

6h.16′. Le dernier essieu terminé est mené au waggon, auquel il est complétement fixé à 6h.35′. C'était ce qui terminait le véhicule, car lorsqu'on posa cette dernière paire de roue, il était déjà peint et verni.

Le tournage a occupé 63 hommes et enfants, qui ont donné un travail effectif de.. . . . . 31h.34′.

Les barres de tampons et toutes les petites pièces furent tournées et préparées par quatre enfants, dont le travail collectif peut être représenté par. . . . . . . 2h.30′.

5° *Ajustage.*

Tout le travail d'ajustage fut terminé à 2h.35′ par 71 hommes et enfants, dont le travail collectif peut être représenté par. . . . . 177h.30′.

6° *Fonderie.*

Tout le travail de fonderie, se composant de 32 pièces, fut fait par 6 hommes et 3 enfants, dont le travail collectif est représenté par. . . . . 10h.30′.

En faisant la somme des heures employées à ce travail, on trouve 1007h.39′, comme total du temps employé à cette construction, qui n'a aucunement interrompu le travail ordinaire de l'usine.

Le waggon achevé fut chargé de marchandises destinées à l'Exposition de Londres, et lorsqu'à 7 heures le train qui se rend à la capitale passa à la station Ashbury (25 minutes après l'achèvement du véhicule), le nouveau waggon fut attaché le premier de vingt-quatre qui composaient le train, et arriva à Londres le lendemain matin à 6 heures 10 minutes avec trente-sept waggons chargés; le train ayant pris treize autres waggons en route, il fut alors placé sur un truc *ad hoc,* et arriva à l'Exposition à 10 heures, et à midi il était à la place qui lui était réservée.

M. Ermel ajoute, comme dernier renseignement, que M. Wurgler a bien voulu lui donner, qu'il existe dans l'usine de MM. Ashbury et Son, qui n'occupent pas moins de 2,000 ouvriers, une salle qui peut contenir 800 personnes. Cette salle, qui peut servir de réfectoire, est utilisée actuellement pour une bibliothèque, où les ouvriers

viennent après leur repas : là ils trouvent tous les journaux du jour à un grand nombre d'exemplaires, tous les livres concernant leurs travaux, et même des livres de distraction. Tout ouvrier donne 20 centimes par semaine pour l'entretien de cette bibliothèque, qui doit être regardée comme un excellent moyen d'instruire et de moraliser la classe ouvrière.

M. Goschler ne voit aucun intérêt industriel à construire un waggon en 12 heures ; il pense même qu'un waggon exécuté dans un temps aussi court n'offre pas de garantie suffisante contre les accidents. Quelle confiance peut-on avoir, en effet, dans des essieux confectionnés dans un temps si restreint, temps qui ne permet pas de les soumettre aux épreuves ordinaires?

M. Ermel répond que MM. Ashbury et Son n'ont pas eu la prétention (ainsi que cela ressort d'ailleurs suffisamment de la lecture de la note qui précède) de faire un waggon modèle, mais qu'ils ont voulu simplement faire connaître, par un fait, la promptitude avec laquelle on peut produire un waggon dans leurs ateliers.

Un membre ajoute qu'il est intéressant et en même temps fort curieux de savoir qu'un atelier puisse édifier un waggon en 11 heures 20 minutes ; que ce fait indique non-seulement un atelier considérable, mais encore une bonne conduite du travail, pour qu'une telle construction ne vienne pas entraver le travail ordinaire de l'usine.

M. le Président remercie M. Ermel pour les renseignements qu'il vient de communiquer à la Société.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Burel, sur l'épreuve au frein du moteur à vapeur de l'établissement de M. Fournet à Lisieux.

M. Burel s'excuse vis-à-vis de la Société de n'avoir pas son manuscrit, resté à la campagne, car il n'a su qu'au dernier moment qu'il y avait séance. Il espère cependant faire comprendre le principe et la construction du frein qu'il emploie, en réservant les résultats numériques auxquels il est arrivé, chez M. Fournet, pour la première séance.

M. Burel expose qu'étant resté quinze ans à Rouen, et ayant eu l'occasion de faire de nombreuses expériences au frein de Prony, il a été conduit à construire un frein fonctionnant d'une manière aussi exacte et aussi régulière que possible, quoique assez simple pour que son jeu et ses indications puissent être facilement compris par les personnes intéressées à connaître le résultat de ces expériences.

Ayant pendant assez long temps employé le frein ordinaire, composé d'une poutre en bois et de douves aussi en bois, maintenues par une bande de tôle terminée par deux tiges filetées, qui traversent la poutre en bois et reçoivent des écrous pour opérer le serrage, M. Burel reconnut que, pour de petites vitesses et de grandes forces, cet appareil était trop élastique et ne permettait pas une régularité suffisante ; circonstance qui faisait naître des discussions entre les personnes présentes, souvent peu initiées à ces sortes d'essais, malgré l'intérêt qu'elles pouvaient y avoir.

M. Burel, pour obvier à ces inconvénients, a construit son frein de la manière suivante : il a pris deux pièces en bois, taillées en forme de sabot, pour laisser pénétrer entre elles la poulie, sur laquelle le frein est monté ; ces deux sabots sont rapprochés au moyen de deux forts boulons qui les traversent. Pour remédier aux irrégularités provenant de la disposition des fibres du bois, on place, entre les sabots et la poulie, des espèces de douves qui font que la poulie, en tournant, frotte sur le bois dans le sens perpendiculaire à ses fibres ; le frottement, dans ce cas, est beaucoup plus doux et régulier. Pour la régularité de la marche du frein, il faut pouvoir serrer ou des-

serrer en même temps les deux boulons du frein ; dans ce but, on a fixé sur les écrous deux engrenages héliçoïdaux qu'on peut manœuvrer à la main par un arbre portant deux vis sans fin et une manivelle.

M. BUREL, au lieu d'un levier en bois, emploie deux flasques en fer de $0^m,22$ de hauteur moyenne, reliées entre elles par des entretoises.

La longueur du levier est de $3^m,185$, ou aussi près que possible du rayon qui engendre une circonférence de 20 mètres, et cela pour la facilité du calcul.

Pour mesurer l'eau d'alimentation de la machine à vapeur soumise à l'essai, on s'est servi du compteur à eau anglais de Kennedy, parfaitement jaugé avant l'expérience.

En même temps qu'on faisait les expériences au frein, d'autres observateurs relevaient des diagrammes à l'indicateur de Watt, sur les cylindres à vapeur.

Enfin, M. BUREL termine en disant que le frein, par la position qu'on a été forcé de lui donner, était placé sur un arbre ne pouvant transmettre que 90 chevaux, par suite de ses dimensions : or, la machine peut développer un travail de 280 chevaux ; de sorte que, pour arriver à connaître la puissance totale de la machine, on a employé une méthode analogue à la double pesée dont on se sert pour les balances. On a d'abord reconnu exactement le travail total qui passe par l'arbre, sur lequel est placé le frein, soit 90 chevaux : on a alors parfaitement repéré l'ouverture du robinet de vapeur de la machine, la pression de la vapeur, le niveau de l'eau, le vide au condenseur, la vitesse de la machine, etc. Puis on a embrayé une certaine portion de l'usine sur l'arbre de commande, tout en ôtant des poids sur le plateau du frein, afin de maintenir la même vitesse et les mêmes conditions d'expérience que dans celle précédente. Dès lors, si le frein n'est plus chargé qu'à vingt chevaux, puisque la machine fait 90 chevaux par suite des conditions rigoureusement identiques de marche, les outils ajoutés prennent 90 — 20 = 70 chevaux. On comprend que par ce moyen, et en opérant toujours successivement par différence, on puisse arriver par une addition finale à la force totale de la machine.

M. le Président fait observer que l'idée de mettre à un frein deux boulons, pouvant être réglés ensemble par un mécanisme, est due à M. Poncelet, et qu'il croit opportun de le rappeler. M. Poncelet était même allé plus loin, puisqu'il avait pensé faire marcher ce mécanisme par un régulateur, qui recevait lui-même son mouvement du moteur soumis à l'essai.

M. le Président ajoute que, dans les nombreuses expériences au frein qu'il a eu occasion de faire, il a été quelquefois conduit, par suite de la largeur de la poulie, à mettre quatre boulons au lieu de deux, pour maintenir les sabots bien appliqués par toute leur surface, sur la jante de la poulie.

M. BUREL répond qu'il a souvent pris également cette précaution.

M. le Président remercie M. Burel des renseignements qu'il vient de donner sur ses expériences au frein, renseignements qui, complétés dans la prochaine séance, offriront sans aucun doute un grand intérêt aux membres de la Société.

Sur la demande de M. Dallot, sa communication sur le pont d'Audenarde est renvoyée à la prochaine séance.

M. le Secrétaire donne lecture d'une note de M. Desgranges, sur les machines locomotives employées au Semmering.

M. GOSCHLER rappelle qu'il est d'usage à la Société de ne pas insérer les notes déjà publiées ; or, celle de M. Desgranges ayant paru dans les *Annales des Mines*, il croit opportun de ne pas la reproduire dans le compte rendu de nos séances.

M. le Président donne acte à M. Goschler de son observation; mais il fait connaître à la Société que M. E. Flachat a écrit à M. Desgranges une lettre, réclamant un supplément de renseignements, sans lesquels, selon lui, il est difficile d'apprécier exactement la portée des résultats constatés par M. Desgranges.

M. le Président pense donc qu'il est nécessaire d'attendre la réponse de M. Desgranges; à ce moment la Société, ayant sous les yeux aussi bien les documents manuscrits que la note imprimée concernant cette affaire, décidera quelle suite elle entendra lui donner.

M. Courlet a été reçu membre de la Société.

Séance du 16 Mai 1862.

Présidence de M. Forquenot, *vice-président.*

M. Dallot rappelle que le mémoire qu'il a remis à la Société au sujet du pont de l'Escaut à Audenarde, a donné lieu de la part de M. Ivan Flachat, dans une des séances du mois de février dernier, à plusieurs observations qui peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

M. Ivan Flachat, tout en reconnaissant les avantages présentés par le bow-string au point de vue théorique, dans le cas d'une seule travée et en écartant tous les systèmes qui donnent naissance à des poussées horizontales sur les maçonneries, a indiqué que malgré ces éléments favorables le pont d'Audenarde constituait un ouvrage inusitément lourd, le poids de la partie métallique s'élevant à 3,044 kilogr. par mètre courant de double voie entre les appuis, pour une portée de $27^m.80$, tandis que les ponts construits pour des ouvertures de dimensions voisines montrent que cette ouverture peut être franchie à raison de 2,000 kilogr. par double voie. Il a trouvé les causes d'une telle anomalie dans l'énorme charge du ballast et des voûtes en maçonnerie, employés au pont d'Audenarde.

Il n'y a là, dit M. Dallot, qu'une question de fait. C'est donc aux faits qu'il convient d'en appeler.

M. Dallot cite en premier lieu l'exemple du pont du Ciron de 30 mètres d'ouverture, pesant 2,533 kilogr. par mètre courant de portée libre. L'écart du chiffre indiqué par M. Ivan Flachat est déjà notable; et cependant le pont du Ciron est un ouvrage exceptionnellement économique, qui rentre, à proprement parler, dans la catégorie des ponts en arcs, puisqu'il est encastré dans les maçonneries au moyen de deux retours d'équerre. Pour faire apprécier l'influence de cette circonstance, il suffit d'indiquer que l'effort maximum exercé sur la section la plus fatiguée de la poutre intermédiaire, supportant une voie, atteint seulement 82,767 kilog., tandis que si l'on eût employé une poutre droite ordinaire de $2^m.50$ de hauteur, proportion la plus convenable relativement à la portée, l'effort exercé sur les semelles se fût élevé à 250,000 kilogr.

Les ponts des chemins de fer suisses, qui ont été décrits par M. Goschler, fournissent une série d'exemples également concluants. Tous ces ponts sont à poutres droites, à treillis, et sans aucune charge de ballast.

Le pont de la Birss, près de Bâle, se compose de trois travées de 24 mètres d'ouverture. Son poids s'élève à 3,136 kilogr. par mètre courant de double voie.

Pour le pont de Frenke, près Liestal, composé de trois travées de 16m.80 d'ouverture seulement, le poids de la partie métallique ne s'élève pas à moins de 2,700 kilogr. par mètre courant de double voie. Cependant, d'après les indications de M. Goschler, cette quantité de métal s'est encore trouvée insuffisante. Les poutres éprouvèrent en effet, à la suite de leur mise en service, des vibrations tellement sensibles, que l'on fut obligé de renforcer le treillis au moyen de fers à T disposés en croix de Saint-André.

Les ponts de Burgdorff et de Vorblaufen, près Berne, construits avec cette modification, se composent de deux travées de 24 mètres, comprenant entre elles une troisième travée de 28m.80. Leur poids s'élève à 3,300 kilogr. par mètre courant de double voie.

M. Dallot demande la permission de faire observer qu'il a été étudié pour Audenarde, conjointement avec le bow-string, un contre-projet dans le système des poutres droites à treillis. La hauteur des poutres était de 2m.60; l'épaisseur des semelles variait de centimètre en centimètre, et les barres des treillis elles-mêmes avaient des sections proportionnées aux valeurs de l'effort tranchant. Les pièces de pont et leurs entretoises étaient dans les mêmes conditions que pour le projet exécuté; enfin le poids mort ne se fût élevé qu'à 6,000 kilogr. par mètre courant, soit la moitié du poids mort bow-string.

Cependant le métré du projet à poutres droites a constaté un poids de 105,000 kil., qui se fût certainement élevé à 110,000 kil., en exécution. Le poids du bow-string ne s'étant élevé qu'à 85,000 kil., on voit qu'il existe en faveur de ce dernier une économie de 30 pour 100.

Un pareil résultat est facile à expliquer. On trouve, en effet, par un calcul extrêmement facile, qu'eu égard aux différences de hauteur et de surcharge entre le bow-string et les poutres droites, l'arc et le tirant du premier équivalent en poids aux semelles des secondes. Mais où l'on trouve l'inégalité, et une inégalité considérable, c'est dans la comparaison entre les tympans des fermes courbes et l'âme des poutres. C'est bien là que prend sa source l'économie notable présentée par le bow-string.

M. Ivan Flachat a répondu à l'exposé de ces faits en reconnaissant que pour les poutres droites il ne peut y avoir de discussion sérieuse; mais qu'il n'en est pas moins vrai que dans certains cas spéciaux où l'on se trouve, dans des circonstances exceptionnelles qui permettent d'employer le système à arcs en dessous, il est possible d'établir un pont à deux voies dont le poids ne dépasse pas le chiffre de 2,000 kilogr., indiqué par lui à la Société. A l'appui de cette assertion il a cité plusieurs exemples de ponts en arcs fort économiques.

M. Dallot déclare qu'il ne croit pas devoir suivre M. Ivan Flachat sur ce terrain. Il n'a pas prétendu embrasser dans la discussion tous les systèmes possibles. Il a voulu seulement s'attacher à établir ce fait : dans le cas où l'on a à franchir une travée unique, ou deux travées contiguës au plus, sans avoir la faculté d'exercer sur les culées des poussées horizontales, ou en se trouvant dans l'obligation de conserver le maximum du débouché, conditions qui embrassent l'immense majorité des cas où l'on est conduit à établir un pont en tôle; dans un cas semblable, le système le plus avantageux

sous le rapport de l'économie est le bow-string. Aucun type à poutres droites ne peut lutter avec lui sous ce rapport.

Quant aux arcs en dessous, ils ne constituent qu'un système exceptionnel, qu'il est très-rarement possible d'employer. A Audenarde, par exemple, les deux conditions citées plus haut, qui empêchent d'y avoir recours, se trouvaient réunies. D'une part, la retombée d'arcs en-dessous eût intercepté le chemin de halage, la cote du rail étant invariablement fixée par des sujétions impérieuses. D'autre part, la nature du sol, sur lequel les culées devaient être établies, commandait de diminuer autant que possible leur importance. Il suffit de faire connaître que les culées ont dû être fondées au moyen d'un grillage de pieux, à raison d'un pieu par mètre carré, ce grillage étant recouvert d'un plancher général en chêne de 0m.15 d'épaisseur.

Il faut ensuite tout dire, l'économie considérable qu'offrent les arcs en apparence est souvent due à des circonstances toutes spéciales, telles que l'adoption de pièces de pont en bois, comme aux ponts du chemin de fer du Nord, cités par M. Ivan Flachat. Une pareille disposition serait absolument inadmissible avec des fermes ou des poutres droites, la voie étant placée à la partie inférieure.

M. Dallot fait remarquer que le système des bow-string ne se recommande pas seulement par l'économie, dans les cas bien déterminés où il en conseille l'emploi. Ce système possède encore une véritable supériorité au point de vue de la stabilité. Dans les épreuves officielles du pont d'Audenarde, la flexion des fermes n'a pas dépassé 0m.006, tandis qu'avec les poutres droites ordinaires ou des arcs en dessous, cette flexion eût atteint ou même dépassé 0m.015, les épreuves étant exécutées dans les mêmes conditions. Une stabilité si remarquable est due précisément à la forte intensité du poids mort, à cette charge énorme de ballast et de voûtes en briques critiquée par M. Ivan Flachat. Mais on lui doit une stabilité sans précédents, l'absence complète de vibrations, l'indépendance de la voie, si précieuse dans les ouvrages métalliques. C'est plus qu'il ne faut pour absoudre la disposition employée à Audenarde,

M. Dallot ne croit pas qu'il convienne d'exagérer l'économie dont un système est susceptible. En cela il peut s'étayer de l'autorité de M. Alexis Barrault, qui voudrait que tous les ponts métalliques, sans exception, même les ponts à poutres droites, reçussent une charge de ballast. C'est peut-être aller un peu loin; mais un tel esprit vaut pourtant mieux que celui qui consiste à réduire la matière jusqu'aux dernières limites du possible, en perdant complétement de vue les conditions de sécurité et de durée. Ce sont de telles économies qui ont causé l'insuccès des ponts suspendus.

En somme, le bow-string, tout en présentant une économie très-notable, est susceptible d'offrir encore des garanties exceptionnelles. Voilà le terrain sur lequel il convient de se tenir.

M. Dallot termine en faisant observer que M. Ivan Flachat s'est mépris sur le caractère de la disposition nouvelle qu'il a introduite à la clef des arcs, en la qualifiant d'*articulation*. Ce n'est pas une articulation, c'est un véritable calage qui ne permet aucun mouvement de rotation. C'est en cela que la disposition de M. Dallot diffère du système d'articulation aux naissances appliqué au pont du chemin de fer du Nord sur le canal Saint-Denis. M. Dallot ne peut approuver ce dernier système à aucun point de vue. Une articulation en un point quelconque d'un arc est certainement une disposition fâcheuse, mais il était impossible de la placer plus malheureusement qu'aux naissances. C'est venir en aide aux vibrations de la façon la plus efficace possible. M. Dallot repousse donc toute analogie entre les coins de la clef des arcs du bow-string d'Audenarde, et la disposition des pivots aux naissances.

Quant à la critique de M. Ivan Flachat, relative à l'absence d'appareils pour régler les tiges des tympans, il suffit de répondre que la principale utilité de ces appareils consiste à faciliter le montage. On conçoit leur emploi pour les fermes de 59m de portée comme au pont de Windsor, construit par Brunel. Mais au pont d'Audenarde le besoin ne s'en est nullement fait sentir, quoique le montage ait pu être exécuté avec une rare perfection. Il est vrai qu'avant de monter les tympans, l'arc et le tirant avaient été assemblés, et que l'emploi des coins, placés à la clef des arcs, avait permis de faire disparaître le léger voilement du tirant produit pendant le transport et les manœuvres de levage, et cela sans produire la plus légère tension initiale. Il n'est pas, d'ailleurs, toujours prudent de multiplier sans nécessité l'emploi des tendeurs. La manœuvre en est en effet toujours délicate, et il suffit que quelques-uns d'entre eux soient mal réglés pour produire des inégalités de tension qui peuvent altérer gravement les conditions d'équilibre de toute une ferme.

M. Cahen donne lecture de l'analyse qu'il a faite du mémoire présenté par M. Bessemer de Londres et discuté à la Société des ingénieurs mécaniciens, dont le titre est : *De la fabrication de l'acier fondu et de ses applications.*

Ce travail sera publié en même temps que l'analyse, par M. Cahen, de deux autres mémoires traitant également de la fabrication, de la nature et de l'emploi de l'acier, mais dont l'heure avancée ne permet pas la lecture. Le premier, par M. John Brown de Scheffield, traite de la fabrication des rails en acier et des plaques de blindage. Le second, par M. Édouard Vickers de Scheffield, traite de la résistance de l'acier contenant différentes proportions de carbone.

M. le Président, en remerciant M. Cahen de son intéressant travail, demande si dans les essais faits par M. Jackson, du procédé Bessemer, on a obtenu des qualités d'acier identiques à celles obtenues en Angleterre. Les aciers Bessemer se présentent sous l'aspect d'un métal poreux, qui par le forgeage prend un grain fin analogue à celui de certains aciers anglais de première qualité, et pourtant jusqu'à ce jour il ne connait pas d'emploi bien développé pour cet acier.

M. Limet fait observer que, d'après l'analyse de M. Cahen, M. Bessemer emploie, pour fabriquer son acier, de la fonte au coke provenant d'hématites brunes qu'il décarbure pour la recarburer avec de la fonte au bois en proportion définie, mais on n'indique pas quels sont les corps éliminés en même temps que le carbone. Ce renseignement serait d'autant plus intéressant qu'on n'est pas encore fixé sur la permanence des résultats.

En Angleterre le but à atteindre est de fabriquer l'acier avec des fontes au coke ; en France il conviendrait d'étudier le produit qu'on obtiendrait avec des fontes au bois.

M. Forquenot croit savoir que les déchets ne sont pas constants. En France on ne fabrique pas encore couramment, pourtant il doit dire que des ressorts faits chez Jackson avec l'acier Bessemer ont des résistances plus grandes que ceux faits avec les aciers ordinaires.

La grande économie qui résulte du procédé Bessemer est qu'il n'est pas nécessaire de refondre la fonte, c'est ainsi qu'on peut donner des rails à 45 fr. les 100 kilog.; mais, au reste, des rails en acier puddlé ont été faits déjà à des prix analogues.

M. Cahen fait remarquer que, d'après ce que dit Bessemer dans son mémoire, les déchets, qui à l'origine dans de petits appareils s'étaient élevés à 14 et 18 p. 100, ont été réduits par l'emploi d'appareils plus grands dans lesquels 4 tonnes de fonte

sont à la fois converties en acier, la perte s'est trouvée réduite à 10 p. 100, et qu'avec des fontes de Suède cette perte s'est même abaissée à 8 3/4 p. 100.

L'acier Bessemer a été essayé et appliqué à un grand nombre d'usages, et déjà M. Adamson seul a employé plus de 200 tonnes de tôles du nouvel acier pour la fabrication des chaudières; toutes ces chaudières se sont très-bien comportées comme résistance.

M. Dubied sait que les foyers de machines, en acier fondu, ont une plus grande durée que les foyers en tôle de fer; cela tient à ce que la tôle de fer, si bonne que soit sa qualité, est souvent doublée, et qu'ainsi elle se brûle plus facilement.

M. le Président espère que bientôt on pourra, en France, faire des chaudières en acier à meilleur marché qu'on ne les fabrique maintenant. L'administration en a autorisé l'emploi; mais on attend de nouvelles expériences pour reviser l'ordonnance qui régit l'usage des chaudières à vapeur.

M. Limet rappelle que M. Tresca a fait au Conservatoire, sur la résistance de l'acier, de très-intéressantes expériences, qui ont été communiquées à la Société.

Séance du 6 Juin 1862.

Présidence de M. Alexis Barrault, *vice-président.*

M. Cahen donne lecture de l'analyse qu'il a faite du Mémoire de M. Bessemer de Londres, ayant pour titre : *De la fabrication de l'acier fondu et de ses applications,* et de la discussion qui a eu lieu en Angleterre, à la Société des Ingénieurs-Mécaniciens.

Le Mémoire présenté en 1860, par M. Bessemer, à la Société des Ingénieurs civils de Londres, dont nous devons la traduction à M. Chobrzynski, nous dispensera de revenir sur un très-grand nombre de faits cités de nouveau dans la présente communication.

M. Bessemer entre dans certains développements sur l'ancienne méthode de fabrication de l'acier et sur celle qu'il a imaginée; il décrit les appareils employés depuis plus de deux ans dans la fabrication d'acier, l'atlas de MM. John Brown et Cie, à Sheffield, où l'on emploie de la fonte au coke provenant de minerais d'hématites brunes; puis il signale la pression du vent qui entre dans les tuyères du vase réducteur, et le nombre de buses par lesquelles s'échappe l'air nécessaire à la réduction : la pression est de 14 livres par pouce carré (73c/m de mercure) et le nombre de buses est de 49 disséminées sur 7 tampons en terre réfractaire.

Aux ateliers de Sheffield, on donne le vent jusqu'à ce que le métal s'approche de l'état du fer malléable, c'est-à-dire jusqu'à ce que la flamme blanche volumineuse qui sort du vase s'abaisse subitement. A ce moment, on intercepte le vent, on incline le vase pour y introduire une quantité connue de fonte au bois à proportion définie

de carbone, puis on relève l'appareil en donnant de nouveau le vent durant quelques secondes.

Ce procédé permet de produire de l'acier à tous les degrés de carburation. La proportion de fonte au bois que l'on introduit dans le vase réducteur à la fin de l'opération est de 120 livres (54 kil.) par tonne de fonte et de 130 à 140 livres (59 à 63 kil.) par tonne pour les qualités d'aciers les plus dures. Les grandes dimensions du vase réducteur permettent de convertir économiquement 4 tonnes de fonte à la fois, en acier fondu, en moins de 28 minutes, sans rien projeter à l'extérieur pendant l'opération, et de réduire à 10 pour 100 la perte de poids, y compris la perte due à la fusion dans le four à réverbère. En opérant sur de petites quantités de fontes anglaises, la perte s'est élevée à 14 et 18 pour 100; mais en employant des fontes de Suède, la perte n'a été que de 8 3/4 pour 100.

Parmi les échantillons exposés à la Société des Ingénieurs-mécaniciens se trouvait un morceau de la fonte employée, provenant d'hématites brunes au coke; une portion de lingot d'acier fondu très-doux, cassé sous le marteau pour montrer la pureté du métal fondu non martelé; un lingot forgé partiellement pour montrer ce que le martelage, quelque faible qu'il soit, peut produire; deux morceaux d'acier de la qualité convenable pour tiges de pistons, ployés à froid au marteau-pilon pour montrer la dureté du métal; une plaque tubulaire de foyer de locomotive et des tôles embouties, étirées et percées de trous très-rapprochés les uns des autres, sans que les parties étroites séparant les trous soient déchirées.

Ce qui caractérise le nouvel acier c'est que, quoique présentant une rigidité beaucoup plus grande que celle du fer, il cède à toute extension sans déchirement. La résistance à la traction de ce métal doux et facile à travailler est de 40 tonnes par pouce carré (62 kil. par $^m/_m$ q.), ou de 15 à 18 tonnes (23 à 28 kil. par $^m/_m$ q.) plus grande que celle du meilleur fer de Yorskshire. Cette résistance est presque un minimum pour l'acier, mais aussi cet acier est presque à son minimum utile de dureté; car chaque tonne d'accroissement de résistance, obtenue par l'addition de carbone, correspond à un certain accroissement de dureté, qui le rend plus difficile à forger et l'amène plus près de cet état, où un choc brusque serait susceptible de le briser comme un morceau de fonte.

Il résulte des nombreux essais pour la rupture faits à l'arsenal royal de Wolwich, sous la direction du colonel Wilmat, qu'après le forgeage ou le laminage, l'acier, qui a atteint un certain degré de carburation, présente une résistance moyenne de 68 tonnes par pouce carré (107 kil. par $^m/_m$ q.), mais que cet acier est peu flexible et d'une dureté qui le rend impropre à certains objets; tandis que le fer ou le métal entièrement décarburé est doux, très-flexible et peut céder à un effort moyen de 32 tonnes par pouce carré (51 kil. par $^m/_m$ q.). Cette qualité n'est recherchée que dans le cas où l'on demande un métal se rapprochant du cuivre pour la malléabilité. Il y a entre ces limites des qualités intermédiaires parmi lesquelles se trouve le métal dur et doux, facile à travailler, de la qualité requise pour les tiges de pistons et les pièces de machine en général. Mais les aciers durs dont la résistance est de 50 à 60 tonnes par pouce carré (77 à 93 kil. par $^m/_m$ q.) doivent être rejetés comme étant très-dispendieux à travailler et d'un emploi trop dangereux, lorsqu'ils sont soumis à de forts chocs.

M. Adamson de Kyde, près Manchester, a fait des chaudières et des boîtes à feu de locomotives en tôles d'acier Bessemer, présentant la malléabilité qui jusqu'alors ne se trouvait à un égal degré que dans le cuivre. Le travail des plaques de tôle, résultant

12

du laminage des lingots d'acier fondu, se fait au marteau, avec la plus grande facilité.

Il y a eu aussi des essais très-satisfaisants de canons en acier fondu. Cette fabrication, à laquelle M. Bessemer a apporté tous ses soins, se fait dans les ateliers de Sheffield ; elle nécessite l'emploi d'un métal aussi doux que celui des tiges de pistons. Avec ce degré de dureté, l'explosion du canon devient presque impossible, la résistance à la rupture étant au moins de 15 tonnes par pouce carré (23 kil. par m/m q.) plus grande que celle du meilleur fer en barre anglais. On enlève à l'extrémité de chaque canon un morceau d'essai que l'on forge avec soin en une barre de 2 pouces sur 3 (54 m/m sur 76 m/m) de section et on la plie à froid sous le marteau, afin de constater l'état du métal après le forgeage.

Plusieurs de ces barres d'essais, récemment forgées, sont exposées, ainsi qu'un canon de 18.

Les canons essayés à froid à l'arsenal de Wolwich et les essais de tir faits à Liége, avec des canons de 12 dont l'épaisseur était seulement de 1 3/8 de pouce (35 m/m) à la bouche, de 2 3/8 pouces (60 m/m) à la culasse et le poids de 9 1/4 quintaux (460 kil.), prouvent surabondamment les avantages du nouveau métal. La charge avait été successivement accrue d'un boulet et d'un certain poids de poudre à chaque trois décharges, jusqu'à ce qu'elle atteignît 6 3/4 livres ($3^k,05$) de poudre et 8 boulets de 12 livres ($5^k,4$) chacun, ou 96 livres ($43^k,5$) par coup. La charge était donc égale à environ 1/10 du poids du canon. Il résista deux fois à cette charge excessive, puis céda à environ 40 pouces ($1^m,02$) de la bouche. Il est évident que l'emploi de canons si légers avec des charges si fortes n'aurait jamais été essayé dans la pratique.

On peut juger de la facilité de cette fabrication par le temps très-court pendant lequel s'effectue le travail d'un canon de 18. En moins de 8 heures, la fonte extraite du four à réverbère est transformée en acier dans le vase réducteur, l'acier coulé dans un moule en fer de 16 pouces de côté (0,406 de côté) sur 4 pieds de long ($1^m,210$) est forgé, la partie centrale étant suffisamment molle pour ressentir efficacement l'action du martelage. Il ne restait plus qu'à mettre le canon sur la machine à percer.

Une usine, montée pour fabriquer journellement 40 blocs d'acier fondu, pour canons, nécessiterait des appareils n'excédant pas le prix de 5,000 livres (125,000 fr.).

La discussion à laquelle a donné lieu le Mémoire de M. Bessemer se distingue des discussions précédentes sur le même sujet par la multiplicité des applications signalées et par leur résultat. M. Adamson seul a déjà employé plus de 200 tonnes de tôles du nouvel acier, pour la fabrication des chaudières. Il déclare que ce métal se travaille admirablement, s'emboutit avec autant de facilité que le cuivre, sans être aussi susceptible que ce dernier de se déformer par la chaleur. Les chaudières à hautes pressions qu'il a faites coûtent environ 1/3 de plus que celles exécutées avec les meilleures tôles de fer, mais cela est dû en grande partie à la perfection du travail, les joints étant à double ligne de rivets et les trous de rivures étant alésés avec les plus grands soins et non simplement percés, afin d'obtenir une plus grande exactitude de travail et d'éviter de fatiguer le métal par l'emploi de la broche.

La durée des plaques tubulaires de chaudières à foyer intérieur, qu'il a faites pour M. Platt à Oldham, et les essais entrepris dans cette usine par M. W. Richardson, ont donné pleine satisfaction. Les foyers n'ont plus subi les déformations auxquelles les chaudières en très-bon fer étaient sujettes précédemment, et les doubles rivures, substituées aux rivures simples, ont parfaitement résisté ; tandis qu'une grande économie était réalisée, tant sous le rapport de la matière, par suite de la moindre

épaisseur des tôles, que sous le rapport de la moindre quantité des combustibles nécessaire pour produire les mêmes effets. Les tôles d'acier avaient seulement 5/16 de pouce (8 mm.) d'épaisseur et présentaient la même résistance que les premières en tôles de fer, qui avaient 9/16 de pouce (14 mm.); de sorte qu'il y avait seulement 5/8 de pouce (16 mm.) d'épaisseur aux joints, au lieu de 1 1/8 de pouce (28 mm.), ce qui donne seulement 1/16 de pouce (2 mm.) de surcroît d'épaisseur aux joints des tôles d'acier sur la simple épaisseur des tôles de fer.

Les altérations remarquées dans les chaudières en fer forgé, le long des lignes de recouvrement des tôles, n'ont pas été constatées dans les chaudières en nouvel acier; il est vrai que ces dernières ne sont en service que depuis deux ans, et qu'on a l'habitude de les examiner une fois par an, de les nettoyer avec soin, et de les enduire d'huile de graine de lin pour les préserver de la corrosion. Toutefois, la nature du nouvel acier, qui est une matière parfaitement homogène, intimement unie dans toutes ses parties, et dépourvue de structure lamelleuse, est certainement bien supérieure au fer sous ce rapport. Il a été facile de s'en convaincre en couvrant d'acide étendu d'eau deux tôles limées et planées avec soin; l'une de fer et l'autre d'acier fondu. Après quelques minutes, en essuyant l'acide, la tôle de fer forgé présentait de nombreuses traces de corrosion, qui s'étendaient dans l'épaisseur du métal, tandis que la tôle d'acier fondu ne présentait rien de semblable.

Un point intéressant de la discussion a porté sur certains effets de dilatation, qui ont été examinés avec soin par M. Adamson. Il a remarqué que les barres ou tôles d'acier fondu se dilataient inégalement lorsque leurs températures, en quittant les laminoirs, avaient été différentes. Il en résultait dans les chaudières en feu des inégalités de tension ou du tirage sur les joints, lorsque les tôles dont elles étaient formées avaient été laminées à différentes températures. Cette particularité s'applique non-seulement à l'acier fondu, mais aussi à l'acier puddlé et au fer. M. Adamson, dans les expériences qu'il a faites sur des assortiments de bandes laminées à différentes températures d'acier Bessemer, d'acier puddlé et de fer, ayant chacune 10 pieds (3m.05) de long, a trouvé en soudant ensemble les bandes d'une même matière et en les soumettant à une chaleur rouge modérée, qu'il y avait entre elles des différences de longueur de 1/8 de pouce (3mm.), et que les tôles laminées à la température la plus froide étaient celles qui se dilataient le plus au premier réchauffage; mais il a de plus observé que les réchauffages subséquents des mêmes assortiments ne donnaient pas lieu à des différences de dilatation égale au 1/10 de celles observées précédemment. On obvie maintenant aux inconvénients résultant du laminage à différentes températures en huilant les tôles durant quelques heures, après qu'elles ont quitté les laminoirs.

M. Bessemer entre ensuite dans de très-grands développements provoqués par les doutes qu'exprime M. le président sur la résistance au choc des très-grosses pièces d'acier fondu, en général, résultat qu'il attribue au défaut de martelage de l'acier. L'auteur dit que le but du martelage n'est pas de souder l'acier, comme lorsqu'il s'agit d'une masse de fer forgé, mais simplement de comprimer les particules de façon à les unir plus intimement, et il rappelle que la condensation produite par de petits coups de marteau, après la fusion, donne la même résistance que si l'acier avait été amené à l'état de barre sous le marteau. Il cite aussi les essais qu'il a faits sur l'influence du martelage plus ou moins prolongé des lingots sortant du moule; la résistance s'est accrue de 24 à 57 tonnes par pouce carré (33 à 58k par mmq.) sur un lingot de trois pouces carrés (44mm de côté), amené à 1/4 de pouces de

côté ($6^{mm}5$); mais en continuant le martelage, la barre amenée à une section de 1/2 pouce carré ($5^{mm}7$) de côté ne présentait plus d'accroissement de résistance. Il pense que les moyens dont dispose actuellement l'industrie métallurgique sont assez puissants pour les travaux ordinaires, et que le marteau-pilon de 40 tonnes que fait installer M. Krupp d'Essen, en Prusse, est destiné seulement aux lourdes pièces pesant de 20 à 30 tonnes.

Le grand avantage de l'emploi de l'acier fondu pour les grosses pièces de forge consiste dans l'absence de soudures et dans l'homogénéité de la matière fondue aux dimensions les plus convenables pour sa transformation par le martelage en sa forme définitive. Dans l'ancienne méthode de fabrication de l'acier, on laissait le lingot se refroidir après la fusion, et l'on croyait que, par l'exposition à l'air, il devenait plus doux. Cette opinion erronée n'est pas admise dans la fabrication des canons en acier. Après la coulée dans le moule, la surface extérieure se rafraîchit, et le centre est encore à l'état pâteux, que l'extérieur est complétement solide. Lorsqu'on sort le canon du moule, vingt minutes environ après la coulée, il est trop froid à l'extérieur pour être travaillé sous le marteau, quoique l'intérieur soit encore très-chaud; on l'introduit alors dans un four à réchauffer jusqu'à ce que sa température se rapproche de la température centrale, ce qui se produit dans un temps assez court pour qu'on n'ait pas à craindre que le métal soit surchauffé ou brûlé à l'extérieur, comme cela a lieu dans l'ancienne méthode, sans que pour cela l'intérieur soit assez chauffé pour que les coups de marteau pénètrent complétement la masse. Le forgeage s'accomplit d'ailleurs dans un temps très-court, le centre étant plus mou que l'extérieur.

En définitive, le nouvel acier fondu a maintenant fait ses preuves, et il n'y a pas de doute que son emploi se généralisera pour les grosses pièces, comme il l'est déjà pour celles de petites dimensions.

M. Cahen donne ensuite lecture de son analyse d'un mémoire de M. John Brown, de Sheffield, ayant pour titre : *De la fabrication des rails en acier et des plaques de blindage*, et de la discussion qui a eu lieu à la Société des Ingénieurs-Mécaniciens.

Parmi les moyens employés pour obtenir des rails d'une plus grande durée, capables de résister à l'action écrasante des locomotives modernes, est celui qui consiste à former la surface de roulement en acier, soit en introduisant une feuille d'acier dans le parquet, pour être soudée et laminée avec lui, soit en soumettant la surface du rail à l'aciération dans un four spécial. On durcit ainsi l'enveloppe extérieure, ou la croûte, de la portion du rail qui fatigue. Ces rails satisfont incomplétement au but qu'on se propose, car l'enveloppe durcie n'empêche pas les rails de céder aux fortes pressions des roues; l'écrasement et le fendillage sont seulement un peu diminués. Les mêmes objections s'appliquent aux rails en acier puddlé, dont la qualité est trop variable et parfois trop fragile pour qu'on puisse s'y fier.

Le système Bessemer permet d'obtenir une matière résistante, dure et homogène, parfaitement convenable à la fabrication des rails. Son emploi pour les aiguilles et les changements de voie constituerait une sérieuse économie.

Les échantillons de rails en acier, exposés à la Société des Ingénieurs-Mécaniciens, ont été obtenus par la méthode déjà décrite par l'inventeur même. Chaque lingot de 9 pouces carrés (58^{cq}) sur 26 pouces (636^{mm}) de long sert à la fabrication d'un rail de 6 yards ($5^{m},500$), pesant 84 livres par yard ($41^{k},5$ par mètre). Ces lingots sont d'abord amenés au marteau à 6 pouces carrés (38^{cq}, 70) sur 5 pieds ($1^{m},52$) de long, et travaillés ensuite à la manière ordinaire.

Il est évident que la seule limite de longueur du rail fait par ce procédé est, ou le poids du lingot produit, ou la longueur du four à réchauffer. Il n'y a aucune tendance aux criques pendant le laminage de cette matière parfaitement homogène, dont la résistance est supérieure à 40 tonnes par pouce carré (62^{k} par ^{mmq}.)

Les essais de rails en acier fondu par l'ancienne méthode, qui ont été posés à Ebboo-Vale, à l'extrémité nord de la station de Derby, prouvent incontestablement leur supériorité sur les autres rails.

Les rails du nouvel acier ont été employés principalement sur le continent. On en a posé, il y a six à sept mois, une garniture d'aiguilles et de croisement de voies à la nouvelle station du chemin de fer de Pimlico à Londres, et ils n'ont pas été touchés depuis lors. On en a mis aussi plus récemment sur les chemins de fer de Calédonie, Lancashire et Yorkshire, sur le North-Western et sur le Rhymuy; mais ces rails ne sont pas posés depuis assez longtemps pour qu'on puisse se prononcer sur leur durée.

Il résulte de la discussion qui a suivi la lecture du rapport, que les rails d'acier Bessemer, du prix de 18 livres 10 schellings (470 f.) la tonne en Angleterre, plus 5 ou 6 livres (128 f. à 154 f.) sur le continent, sont moins fragiles et beaucoup plus durs que les rails en fer. Les cassures faites à dessein après le laminage étaient d'un très-beau grain; cette matière est à la fois dure et malléable, comme le prouvent les échantillons ployés et tordus à froid. Leur durée sera d'au moins cinq fois la durée des rails ordinaires. L'emploi des rails Bessemer permet une réduction de poids d'un tiers sur celui des rails ordinaires.

Les essais à la presse hydraulique, qui ont été faits sur des rails à double champignon de 75 livres par yard (37^{k} par mètre), placés entre deux supports libres distants de 3 pieds (910^{mm}), ont montré qu'ils résistaient parfaitement à un effort de 80 tonnes exercé en leur milieu; la flexion observée était de 2 3/4 à 3 pouces (70^{mm} à 75^{mm}).

Plaques de blindage. Deux méthodes pour le travail des grandes masses de fer sont en usage: la première par le forgeage au marteau-pilon, et la seconde par le travail des laminoirs. Sous le marteau-pilon, la plaque est produite par le soudage des loupes ou paquets de fer de riblons; chaque paquet étant ajouté et soudé à une des extrémités de la plaque jusqu'à ce qu'elle atteigne la longueur requise.

On fait à ce mode de fabrication des objections sérieuses, fondées sur la forme des soudages successifs des paquets de riblons de différentes qualités, élevés à des températures variables, et sur les refroidissements et les réchauffages répétés des plaques. Il doit y avoir en effet discontinuité de fibres dans ces plaques, résistance insuffisante et fragilité.

La méthode de laminage suivie par M. Brown dans ses ateliers de Sheffield donne des produits qui, suivant lui, sont bien supérieurs à ceux de la méthode précédente, mais en employant des fers de bonne qualité.

Son outillage lui permet d'obtenir des plaques d'armures des plus grandes dimensions demandées, c'est-à-dire ayant 15 à 18 pieds (4^{m},5 à 5^{m},5) de long sur 2 pieds 6 pouces à 3 pieds 10 pouces (0^{m},760 à 1^{m},170) de large, et 4 1/2 pouces (115^{mm}) d'épaisseur, du poids de 4 à 7 tonnes brutes, et de 3 à 5 1/2 finies.

La composition des paquets se fait de la manière suivante:

Des barres en fer laminé de 12 pouces (305^{mm}) de large sur 1 pouce (25^{mm}) d'épaisseur, toutes coupées à 30 pouces (760^{mm}) de long, pour former des paquets soudés et laminés contenant chacun cinq de ces barres; deux de ces paquets sont alors soudés et laminés en une plaque de 1 1/4 pouce (32^{mm}) d'épaisseur, laquelle est partagée en

plaques de 4 pieds de côté ($1^m,205$ de côté), que l'on soude et lamine par paquet de 4 plaques aux dimensions de 8 pieds ($2^m,430$) de long, sur 4 pieds ($1^m,215$) de large et 2 1/2 pouces ($63^{mm},15$) d'épaisseur, et finalement quatre de celles-ci sont réunies et chauffées dans un four spécial, pour former la plaque définitive.

M. Brown s'est appliqué à réduire le plus possible la perte de temps, et par suite la perte de chaleur des paquets sortant du four, attendu que c'est là une condition très-importante lorsqu'il s'agit de souder ensemble 160 épaisseurs de plaques, qui doivent devenir 35 fois plus minces, et qui représentent une surface à souder de 3,506 à 4,000 pieds carrés (325^{mq} à 372^{mq}). Dans ce but, le transport du paquet au blanc soudant, sortant du four, se fait à l'aide d'un waggon qui reçoit son mouvement d'une chaîne fixée aux laminoirs. Les rails sur lesquels circule ce waggon sont terminés en avant des laminoirs par un butoir incliné qui soulève l'avant du chariot et lui permet de quitter le paquet sur l'avant-plaque. Le paquet passe à travers les laminoirs, et est reçu de l'autre côté sur un châssis très-incliné, à rouleaux, pour faciliter son retour aux laminoirs; le mouvement des laminoirs est alors renversé; la plaque repasse entre les cylindres et est reçue sur le petit chariot. Cette opération est renouvelée jusqu'à ce que les 10 pouces (254^{mm}) d'épaisseur du paquet soient réduits à 4 1/2 pouces (115^{mm}). La plaque est alors soulevée du petit chariot à l'aide d'une grue, et portée sur un marbre en fonte, où elle est soumise sur toute sa surface à l'action d'un rouleau en fonte muni de leviers à main, pesant 9 tonnes, jusqu'à ce que la courbure acquise dans les laminoirs ait complétement disparu.

Aussitôt que la plaque est suffisamment refroidie, elle est enlevée par une autre grue, et couchée sur une machine à raboter, où l'on coupe ses côtés et ses bouts.

La production de l'usine de Scheffield est de trois plaques par journée de douze heures, et pourrait être de cinq à six en travaillant vingt-quatre heures par jour; ce qui nécessiterait un deuxième four à réchauffer, afin de permettre le nettoyage du four sans arrêter le travail. Avec un seul four, comme il en existe aux ateliers décrits, on perd deux à trois jours par quinzaine pour les réparations.

M. Brown reconnaît qu'il est très-difficile de faire pénétrer suffisamment la chaleur au travers du paquet composé des quatre plaques des plus grandes dimensions, sans brûler les bords et les extrémités les plus exposés au feu, et que, malgré les plus grands soins, on ne peut pas garantir que des empoules et des soudures imparfaites ne subsistent dans les plaques finies : aussi compte-t-il se servir incessamment de l'acier Bessemer, lorsqu'il aura un marteau-pilon de Taylor, pesant 4 tonnes, avec admission de vapeur en dessus du piston, pour accroître l'intensité des coups.

M. Armstrong (Président) conclut de l'examen des plaques essayées aux tirs, qu'il est impossible que le laminage exerce une pression suffisante pour obtenir un soudage complet et une exclusion absolue des impuretés adhérentes aux tôles, et que, conséquemment, elles ne peuvent être soudées en une simple plaque homogène.

Il reconnaît que l'emploi d'un métal pur et homogène, comme celui employé pour la fabrication des rails, serait parfaitement convenable; mais il craint que le marteau que se propose d'employer M. Brown ne soit pas assez lourd. Suivant lui, l'action de la vapeur agissant en dessus accroîtra seulement la vivacité du coup, sans rien ajouter à la masse tombante, et il craint que de cette façon la force ne soit dépensée à la surface de la matière et n'aille pas jusqu'au centre, comme cela aurait lieu avec un marteau plus pesant. Il croit que l'emploi des marteaux-pilons à vapeur en dessus ne peut convenir que pour les pièces légères.

M. Cahen donne ensuite lecture de son analyse d'un Mémoire de M. Édouard Vickers de Sheffield, ayant pour titre : *De la résistance de l'acier contenant différentes proportions de carbone*, et de la discussion qui a eu lieu à la Société des Ingénieurs-Mécaniciens.

Le fer forgé, l'acier et la fonte sont des combinaisons de fer avec des proportions variables de carbone. Le fer forgé en contient de 1/8 à 1/2 pour 100. L'acier fondu de 3/8 à 2 pour 100, et la fonte de 2 1/2 à 7 pour 100.

Les échantillons d'aciers essayés contenaient depuis 1/3 pour 100 de carbone jusqu'à 1 1/4 pour 100; le premier se rapprochait le plus de la nature du fer; il est désigné dans les tableaux par le numéro 2, et le plus dur, le plus fortement carburé, est désigné sous le numéro 20; les numéros intermédiaires représentent des degrés de carburation intermédiaires.

Résistance a la tension. M. Vickers s'est servi d'une machine très-simple à leviers de 220 pouces (5m,600) et 11 pouces (280mm) de long, c'est-à-dire dans le rapport de 20 à 1. Les poids se mettaient sur un plateau à l'extrémité du grand levier et les barres d'essais étaient fixées au petit levier. Les barres d'essais avaient 21 1/2 pouces (550mm) de long et étaient tournées à un diamètre uniforme de 1 pouce (25mm,4) sur 14 pouces (360mm) de longueur ; elles étaient terminées en forme de coin pour faciliter leur pose et leur démontage et étaient attachées par le bas dans un support fixe, et par le haut dans un support en forme de coin, relié au petit levier.

Le tableau suivant donne les efforts de rupture transformés en kilogrammes par millimètre carré de section, ainsi que les allongements produits dans les barres. Ces allongements étaient mesurés après chaque addition de charge dans la balance, à la plus longue extrémité du levier, jusqu'à la rupture produite par l'addition du dernier quintal.

TABLEAU N° 1.

RÉSISTANCE A LA TENSION DES ACIERS CONTENANT DIFFÉRENTES PROPORTIONS DE CARBONE.

NUMÉROS DES BARRES.	PROPORTION pour 100 de carbone *.	EFFORT DE RUPTURE par millimètre carré de section.	ALLONGEMENTS.
N° 2	0.38	48k	34m .8
4	0.43	53	34 .8
5	0.48	59	31 .8
6	0.53	67	28 .5
7	0.58	65 **	20 .6
8	0.63	70	25 .4
10	0.74	71	17 .5
12	0.84	86	28 .5
15	1.00	94	25 .4
20	1.25	108	15 .8

* Les proportions de carbone sont simplement approximatives du N° 4 au N° 5 inclusivement.

** Il y avait une paille dans cette barre d'essai ; ce qui explique sa rupture pour un effort plus faible que pour le N° précédent.

Ce tableau montre que l'acier résiste d'autant mieux à la tension qu'il contient plus

de carbone; mais au delà de la proportion de 1 1/4 de carbone, à laquelle correspond un effort de rupture de 69 tonnes par pouce carré (108 kil. par mmq), l'acier devient graduellement moins résistant; et enfin, lorsqu'il atteint la forme de fonte, son effort de rupture est seulement d'environ 6 à 6 1/2 tonnes par pouce carré (9 à 10 kil. par mmq).

Quand la barre d'acier est tournée sur un point seulement, au lieu de l'être sur une longueur considérable, sa résistance à la rupture est beaucoup plus grande. Ainsi une barre d'acier tournée à 3/4 de pouce (19mm) de diamètre en un point seulement ne se cassait que pour un effort de 79 1/2 tonnes par pouce carré (125 kil. par mmq), tandis qu'une barre du même acier, tournée à 1 pouce (25mm,4) de diamètre sur une longueur de 14 pouces (360mm), se rompait pour un effort de 60 tonnes par pouce carré (94 kil. par mmq).

Ce résultat s'explique par la raison que les chances de rupture sont d'autant plus grandes que la longueur sur laquelle peut se trouver un point faible est plus considérable, et surtout parce que l'effort produit, avant la rupture, un allongement qui diminue le diamètre de la barre, tournée uniformément sur une grande longueur.

Résistance aux efforts transversaux. Ces essais furent faits sur des essieux des mêmes variétés d'acier, tournés à 3,94 pouces (100mm) de diamètre au centre, et 4.25 pouces (108mm) de diamètre aux extrémités, posés sur des supports distants de 3 pieds (910mm). Ils furent soumis en leur milieu au choc d'un mouton de 1547 livres (700 k.) tombant d'une hauteur minime de 1 pied (305mm), s'accroissant d'un pied à chaque coup, jusqu'à 36 pieds (11m), à moins qu'il n'y eût rupture à un coup postérieur.

TABLEAU N° 2.

ESSAI DE LA RÉSISTANCE TRANSVERSALE D'UN ESSIEU D'ACIER N° 4.

NUMÉRO du coup.	HAUTEUR de chute.	FLEXIONS		
		Avant le coup.	Après.	Effet du coup.
1	0m.305	0mm.0	4mm.8	4mm.8
2	0 .610	4 .8	13 .5	8 .7
3	0 .915	13 .5	28 .5	15 .0
4	1 .220	28 .5	0 .0	28 .5
5	1 .525	0 .0	30 .3	30 .3
6	2 .280	30 .3	56 .0	25 .7
7	3 .050	56 .0	0 .0	56 .0
8	3 .800	0 .0	56 .0	56 .0
9	4 .575	56 .0	19 .1	75 .1
10	6 .100	19 .1	76 .5	95 .6
11	7 .625	76 .5	38 .25	114 .75
12	9 .150	38 .25	97 .0	135 .25
13	11 .000	97 .0	60 .5	157 .5
14	11 .000	60 .5	95 .5	156 .0
15	11 .000	95 .5	59 .0	154 .5
16	11 .000	59 .0	99 .0	158 .0
17	11 .000	99 .0	57 .3	156 .3
18	11 .000	57 .3	Rupture.	
Sommes des flexions.............				1m.424 (56 pouces)

Le tableau 2 donne le détail des expériences faites sur un essieu en acier n° 4, contenant environ 4/10 pour 100 de carbone. On voit qu'il a résisté à cinq coups de mouton tombant de 36 pieds (11m) de haut avant de rompre, quoiqu'il eût reçu préalablement douze coups à des hauteurs de chute plus faibles, et que la somme des flexions produites depuis le commencement jusqu'à la rupture s'élevât à 56 pouces (1m.424)

Le tableau 3 donne les résultats généraux des essais des résistances transversales faits sur des essieux en acier de différentes variétés, déjà essayés à la tension. Ce tableau indique, pour chaque essieu, le nombre de coups qui a déterminé la rupture; le nombre de coups à 36 pieds (11m) de hauteur de chute du mouton, avant la rupture, et la somme des flexions produites. Trois essieux en fer forgé furent aussi essayés de la même manière; l'un était en fer forgé au paquet, de la meilleure qualité, et les deux autres en fer de riblons.

TABLEAU N° 3.

RÉSISTANCES TRANSVERSALES D'ESSIEUX EN ACIER A DIFFÉRENTES PROPORTIONS DE CARBONE.

NATURE de L'ESSIEU.	PROPORTION pour cent de carbone*.	NOMBRE de coups total.	HAUTEUR de chute du dernier coup.	NOMBRE de coups supportés d'une hauteur de 36 pieds (11m).	SOMMES des flexions.
Acier N° 2	0.33	17	11m.00	4	1.500
4	0.43	18	11 .00	5	1.424
5	0.48	18	11 .00	5	1.360
6	0.53	15	11 .00	2	0.890
7	0.58	16	11 .00	3	0.955
8	0.63	18	11 .00	5	1.170
10	0.78	16	11 .00	3	1.025
12	0.84	10	6 .10	0	0.217
15	1.00	8	3 .8 25	0	0.110
20	1.25	10	6 .10	0	0.177
Fer forgé de la meilleure qualité.		13**	11m.00	0	0.795
Fer de riblons..		5	1 .525	0	0.051
Fer de riblons..		5***	1 .525	0	0.094

* Les proportions de carbone sont simplement approximatives du N° 4 au N° 15 inclusivement.

** Des criques commencent à se montrer au 10e coup, avec une hauteur de chute de 20 pieds (6m,100), et s'accroissent à chaque coup subséquent.

*** Deux forts criques se produisent au 5e coup, et font considérer l'essieu comme rompu.

Il résulte de ces expériences que le métal le moins carburé lorsqu'il est pur, et que ses particules sont parfaitement cohérentes entre elles, est celui qui supporte le mieux des coups brusques et pesants. On voit aussi que ces qualités ne peuvent exister au degré voulu dans le fer forgé ou dans l'acier puddlé; on les trouve seulement dans l'acier fondu, qui contient au moins assez de carbone pour être rendu suffisamment fluide.

Le procédé de fusion de l'acier peut seul débarrasser efficacement le métal des impuretés qui étaient contenues dans le fer duquel il dérive.

M. Vickers croit que toute soudure affecte plus ou moins la qualité du métal; et il considère comme très-nuisibles au fer et à l'acier les surchauffages ou les chaudes trop nombreuses. Des essais comparatifs, faits avec des essieux d'acier fondu et de fer de Suède, également soumis à des coups continuels, à des ébranlements et à des vibrations, ont démontré que l'acier fondu resistait très-longtemps sans changer de cristallisation, tandis que le fer forgé se rompait après un temps assez court, et présentait de grands changements cristallins.

L'acier fondu qui supporte un effort de tension de 45 à 50 tonnes (70 à 78k par mmq) est encore en dessous du point où la fragilité résultant d'une trop grande rigidité commence, comme cela résulte de l'inspection du tableau 4. On peut donc considérer les aciers des numéros 8 et 10, contenant environ 5/8 à 3/4 pour cent de carbone, comme étant la matière la plus convenable pour la plupart des pièces mécaniques qui doivent résister à la fois aux chocs et à la tension.

TABLEAU N° 4.

RÉSISTANCE TRANSVERSALE ET LONGITUDINALE DES ACIERS A DIFFÉRENTES PROPORTIONS DE CARBONE.

NATURE de l'acier.	PROPORTION pour cent de carbone*.	RÉSISTANCE TRANSVERSALE. Sommes des flexions.	RÉSISTANCE LONGITUDINALE. Effort de rupture par millimètre carré.	RÉSISTANCE LONGITUDINALE. Allongements.
N° 2	0.33	1m.500	48	34mm.8
4	0.43	1 .424	53	34 .8
5	0.48	1 .360	59	31 .8
6	0.53	0 .890	67	28 .5
7	0.58	0 .955	65	20 .6
8	0.63	1 .170	70	25 .4
10	0.74	1 .025	71	17 .5
12	0.84	0 .217	86	28 .5
15	1.00	0 .110	94	25 .4
20	1.25	0 .177	108	15 .8

* Les proportions de carbone sont simplement approximatives du N° 4 au N° 15 inclusivement.

D'autres essais furent faits sur des bandages en acier. Dans ces essais, l'essieu monté était fixé solidement sur des supports, et le bord du bandage était soumis au choc d'une masse du poids de 830 livres (375k), suspendue à une tige de fer de 24 pieds (7m.300) de long. Après neuf coups, dont la hauteur de chute verticale avait varié de 1 pied (305mm.) à 14 pieds (4m.275), l'essieu était tellement plié, que la balle ne pouvait plus frapper la roue. On redressa l'essieu en frappant sur le côté opposé du bandage, puis on le soumit à deux nouveaux coups d'une hauteur verticale de 15 à 16 pieds (4m.575 à 4m.880), en ayant eu soin préalablement d'étayer l'essieu pour l'empêcher de ployer, et le bandage résista parfaitement.

Ces résultats montrent que l'acier fondu à un état de carburation convenable pos-

sède les meilleures qualités du fer forgé, jointes à une résistance supérieure, sans avoir ses défauts.

D'ailleurs, l'acier simplement fondu présente une ténacité supérieure à celle de tout autre métal qui a subi la fusion, comme le prouvent des cloches en acier fondu de même diamètre que des cloches en bronze. Les premières sont un tiers plus légères que les autres, et supportent un effort de rupture double; elles ont résisté à la gelée pendant leur transport en Russie et au Canada à des températures de 20° Fahrenheit au-dessous de zéro, tandis que les autres, plus lourdes et plus épaisses, arrivaient avec des cassures.

Quant au poids spécifique, d'après certains auteurs, il serait de 7.850 pour l'acier, et de 7.650 pour le fer forgé, le poids de l'eau étant de 1.000. Ces chiffres sont contraires aux expériences faites par M. Vickers, sur des pièces de grandes dimensions, contenant depuis 1/3 pour cent de carbone (acier n° 2), jusqu'à 1 1/4 pour cent (acier n° 20).

Il résulte de l'examen du tableau 5, que le poids spécifique de l'acier diminue à mesure que la proportion de carbone augmente; le poids spécifique du fer de Suède, le plus doux et le plus pur, étant de 7.894. Il est probable que le poids de 7.650, indiqué dans les livres pour le fer, a été obtenu avec du fer marchand anglais commun, dont une pièce a donné, d'après M. Vickers, 7.644, chiffre qui s'accorde avec le précédent, et qui ne peut être attribué qu'aux impuretés contenues dans le fer.

TABLEAU N° 5.

POIDS SPÉCIFIQUES DES ACIERS CONTENANT DIFFÉRENTES PROPORTIONS DE CARBONE.

NATURE DE L'ACIER.	PROPORTION pour cent de carbone*.	POIDS SPÉCIFIQUES.
Fer de Suède pur et doux...	0.00	7.894
Fer qui a servi à produire l'acier	0.00	7.860
Acier N° 2	0.33	7.871
4	0.43	7.867
5	0.48	7.855
6	0.53	7.855
7	0.58	7.852
8	0.63	7.848
10	0.74	7.847
12	0.84	7.840
15	1.00	7.836
20	1.25	7.823
Acier puddlé fondu........		7.824
Fonte....................	2 ½ à 7	

* Les proportions de carbone sont simplement approximatives du N° 4 au N° 15 inclusivement.

Les poids spécifiques des aciers nos 2 et 4 sont plus grands que pour le fer dont ils dérivent; ce résultat peut être attribué à ce que la fusion débarrasse le fer cémenté de ses impuretés. Mais la conclusion générale à déduire de l'examen du tableau ci-dessus, est que l'addition du carbone rend le métal moins dense et diminue son poids spécifique.

Les tôles de 5 1/2 pouces (132mm) d'épaisseur qui avaient été faites avec des essieux rompus, présentaient les qualités qui avaient été remarquées précédemment dans les essieux dont elles dérivaient. Celles faites avec l'essieu d'acier n° 20, dont la résistance de tension était de 69 tonnes par pouce carré (108k par mm q), étaient si fragiles qu'elles se rompaient par fragments avant d'être ployées à 45° ; tandis que les tôles de même épaisseur, provenant d'essieux d'acier n° 2, dont la résistance était de 30 tonnes par pouce carré (48k par mm q), se ployaient parfaitement, montraient un grand degré de dureté, et supportaient sans craquer des efforts doubles. Quant aux essieux en fer forgé, ils ont été trouvés bien inférieurs aux précédents, comme l'atteste le tableau 3.

On reproche aux expériences de M. Vickers de donner seulement la limite d'allongement et l'effort de rupture, et non la limite d'élasticité et l'effort correspondant. On observe aussi que le nombre de coups supportés par les essieux à la hauteur maxima représentent seulement une petite portion de leur résistance, attendu que l'essieu était affaibli par son renversement entre chaque coup. Quant aux objections faites sur la perte des résistances due à l'échauffement de l'essieu, M. Vickers répond qu'il n'avait pas eu à en tenir compte, attendu que les expériences pour chaque essieu avaient duré de 2 à 3 heures, et que le temps nécessaire pour élever le mouton entre chaque coup avait été suffisant pour permettre à l'essieu de se refroidir.

M. Nozo dit qu'il serait fort intéressant de relater, à côté des expériences très-curieuses de M. Vickers, les résultats obtenus au chemin de fer du Nord, qui sont opposés à ceux du Mémoire. M. Nozo croit que cette grande divergence dans les résultats provient des différents aciers employés. On peut en effet considérer deux sortes d'acier fondu; l'acier puddlé fondu et l'acier de cémentation fondu; le premier a toujours donné des résultats médiocres au chemin de fer du Nord; cela tient à son manque d'homogénéité, car dans une même barre, à côté d'une portion assez bonne, on trouve un endroit détestable; aussi M. Nozo demande-t-il à M. Cahen si les résultats d'expériences qu'il vient de relater ont été obtenus avec de l'acier puddlé fondu ou avec de l'acier de cémentation fondu, ce dernier se comportant beaucoup mieux à cause de sa grande homogénéité.

M. Cahen répond qu'il ressort évidemment du Mémoire dont il vient de lire un extrait à la Société, que les expériences de M. Vickers ont été faites sur des pièces en acier de cémentation fondu.

M. Cahen ajoute que pour certains cas l'acier puddlé fondu résiste bien; ainsi, au chemin de fer du Nord, il existe des croisements de voie en acier puddlé fondu, qui ne sont nullement détériorés, quoique leur pose remonte à plus de deux ans.

M. le Président fait remarquer que l'acier puddlé fondu peut bien se comporter pour des croisements de voie, sans pour cela être propre à faire des bandages de roue, des essieux, etc., pièces qui travaillent dans d'autres conditions que les rails et les croisements de voie.

M. Nozo indique qu'il est très-utile, dans les expériences sur les essieux, de tenir compte de la température que prend la pièce par suite des chocs successifs du mouton. En effet, un essieu que l'on a ployé déjà plusieurs fois sur lui-même, afin de le

casser, peut encore supporter plusieurs coups du mouton si on opère de suite ; mais si on retarde jusqu'au lendemain, par exemple, la continuation de l'expérience, il arrive fréquemment que la pièce se brise dès le premier coup. Ce résultat doit être dû à un accroissement de résistance et d'élasticité, provenant de l'échauffement de l'essieu par les chocs précédents; tandis que le lendemain, la pièce étant froide, le premier choc du mouton suffit souvent pour en déterminer la rupture.

M. Cahen répond que cette observation est très-juste, mais qu'elle ne peut avoir de l'influence sur les résultats de M. Vickers, qui, d'après l'analyse même qu'il vient de communiquer à la Société, a laissé l'essieu se refroidir entre chaque coup de mouton; que, de plus, les expériences sur les essieux en acier et sur ceux en fer ont toutes été faites dans les mêmes conditions, ce qui les rend parfaitement comparables.

M. le Président remercie M. Cahen de ses intéressantes communications.

M. Burel donne communication des *épreuves* faites sur un *moteur à vapeur*, à la manufacture d'Orival, appartenant à M. Fournet.

Le moteur dont il s'agit se compose de deux machines jumelles à balancier, système de Wolf. Il a été construit, ainsi que les transmissions de mouvement, par MM. Windsor et C[ie], ingénieurs à Rouen. L'arbre de la filature a $0^m,208$ de diamètre, et celui du tissage $0^m,135$; c'est sur ce dernier seulement qu'il a été possible d'appliquer le frein.

Les conditions du frein étaient les suivantes :

R, la longueur du bras de levier, $= 3^m,185$, de manière à faire à très-peu près $2\pi R = 20^m$.

n, le nombre de tours par minute, $= 86$, et dans la formule $T'_u = \frac{2\pi R(P+P')n}{60 \times 75}$.

P, poids normal de l'appareil, $= 96^k,90$, se composant du poids du plateau, des chaînes et du levier; et P', poids réel ajouté sur le plateau, $= 2^k,61$ pour un cheval à la vitesse $n = 86$ tours.

Un compteur a été installé sur l'arbre de transmission, afin d'en totaliser les révolutions.

L'appareil générateur se compose de 3 chaudières à bouilleurs, ayant les dimensions suivantes :

Chaudière :	Diamètre,	$1^m,10$,
	Longueur,	$12\ ,10$.
Bouilleurs :	Diamètre,	$0\ ,60$,
	Longueur,	$13\ ,10$.

Une seule de ces chaudières a été nécessaire pour l'épreuve.

La surface de chauffe était d'environ $95^m,_2$ par chaudière, et la surface de la grille $3^m,_2$.

Un compteur d'eau a été installé dans la conduite de l'alimentation, afin de connaître la quantité d'eau vaporisée.

La vaporisation manufacturière, calculée sur la journée pleine, a été de $8^{lit},17$ d'eau par kilogramme de charbon.

Le rendement de la machine, pendant le temps observé, a été déduit des données suivantes :

Durée de l'observation. . $3^h,31'$
P'. . . . . 84^k
P. . . . . $96^k,90$ } $P + P' = 180^k,90$
Nombre de tours pendant $3^h,31'$ — 18048
Soit n = ... 90 ,27

La formule T_u = force en chevaux = $\frac{20 \times 90,27 \times 180,90}{4500} = 72,577.$

A cette force de $72^{ch},577$ on doit ajouter, pour les frottements, $7^{ch},735$, soit $80^{ch},313$.

Le rapport de la quantité d'eau vaporisée à la force, est de $674^l,78$ par heure pour 80 chevaux, soit $8^l,434$ par cheval et par heure.

Consommation manufacturière.

L'établissement se compose :

1° de 1390 broches de filature à sec, filant environ 700 k. par jour en n° 18 moyen ;
2° de 3400 broches de filature mouillée, — 680 — — n° 40 —
3° Préparation, corderie et 4 peigneuses de Combe ;
4° 106 métiers à tisser et leurs préparations, faisant environ 2500 mètres de toile par jour, en 130, 120, 80 centimètres de largeur.

Deux des chaudières alimentant le moteur, et la troisième servant exclusivement aux chauffages et dépendances de l'établissement.

On a trouvé pour 12 heures de travail :

Consommation totale en charbon. . . . . . . 4370 kil.
— — en eau. . . . . 33416 lit.
d'où, vaporisation par kilogr. de charbon. . 764 lit.
— par heure. . . . . 2784 litres pour les 3 chaudières représentant une surface de chauffe de $285^m,_2$, soit $9^{lit},76$ par m^2 et par heure.

La consommation des chaudières du moteur a été de 3,000 kilogr.; celle de l'autre chaudière de 1,370. En admettant que la vaporisation ait été proportionnelle à la consommation, les deux premières chaudières ont dû vaporiser $\frac{4500}{4370} \times 9^l,76 = 10^l,639$ par m^2 et par heure, soit pour 2×95^{m2} — 2021 lit. par heure, qui représentent la consommation du moteur dans le même temps. Si on compare avec la première épreuve, dans laquelle on avait trouvé $8^{lit},434$ par cheval et par heure, on voit que cette deuxième épreuve correspond à une force développée de 239 chevaux.

La vaporisation de la troisième chaudière est exprimée par $\frac{1370}{4500} \times 9,76 = 8,91$ par m^2 et par heure, soit $846^l,45$ pour $95^m,_2$, ou une quantité de vapeur égale à celle nécessaire pour la production de 90 chevaux de force.

Ces $846^l,45$ d'eau vaporisée par cette dernière chaudière sont donc employés uniquement à chauffer les pareuses et l'eau des bacs de la filature mouillée.

Cette consommation, évidemment trop forte, doit appeler l'attention sur des économies notables à introduire dans la dépense, et les pertes dues au rayonnement dans le parcours.

A la suite de ces expériences, M. Burel s'est livré à une série d'épreuves dans lesquelles il a employé simultanément l'indicateur, pour trouver la force absolue déve-

loppée dans les cylindres, et le frein pour constater la force absorbée par les différentes parties de l'établissement.

Elles sont résumées dans le tableau suivant :

SPÉCIFICATION des ÉPREUVES.	FORCE RÉELLE			FORCE effective dans les cylindres trouvée par l'indicateur C	Rapport entre A + B et C	CONSOMMATION par cheval et par heure	
	trouvée au frein A	absorbée par le frottement B	TOTALE A+B			en eau.	en combustible.
Tout l'établissement...	195.11	9.30	204.41	272.00	0.72	9[l]	1k.22
Le tissage seul.......	37.59	6.61	44.20	55.20	0.80	»	»
Les préparations du tissage...........	12.04	5.00	17.04	22.70	0.75	»	»
La filature..........	73.88	7.80	81.68	94.80	0.86	»	»
Les préparations de filature...........	71.60	7.20	78.80	92.60	0.85	»	»
Épreuve au frein......	72.577	7.735	80.312	93.30	0.86	8l.434	1k.039

M. Burel communique ensuite à la Société un travail qu'il a fait dans le but de prendre une unité plus commode que le cheval-vapeur de Watt, pour mesurer la force des machines à vapeur, et aussi de spécifier plus rigoureusement la puissance de ces machines.

Lorsqu'un industriel achète une machine à vapeur, on fixe sa force en chevaux-vapeur dans le traité, sans se préoccuper souvent des dimensions du cylindre à vapeur, du nombre de révolutions de la machine par minute, et de sa détente. Quelquefois on indique la consommation en charbon par cheval développé sur l'arbre et par heure.

M. Burel considère cette méthode, dont l'usage est général, comme très-mauvaise; car la force développée par une machine peut varier entre des limites très-éloignées, si on vient à changer sa vitesse et sa détente. Il propose donc dans son travail de vendre les machines à vapeur en fixant :

1° La force, non en chevaux-vapeur, mais en dynamodes, dont la valeur sera le travail nécessaire pour élever, en une seconde, un kilogramme à un mètre de hauteur. On n'aura plus besoin alors de fractions pour indiquer la force des machines, comme cela est nécessaire avec l'emploi du cheval-vapeur, fractions qui ne s'apprécient pas facilement par rapport au kilogrammètre qui est la mesure fondamentale;

2° Le diamètre et la course du cylindre à vapeur;

3° Le nombre de révolutions par minute;

4° La pression que doit avoir la vapeur dans la chaudière;

5° La consommation en kilogrammes de vapeur par force de cheval et par heure, et non la consommation de combustible qui varie avec les différentes provenances du charbon, ce qui donne lieu à des contestations, car la houille n'est jamais assez bonne d'après le mécanicien, tandis que l'acquéreur la trouve toujours d'une qualité supérieure et par conséquent exceptionnelle. En fixant au contraire le poids de vapeur

que doit dépenser la machine par force de cheval et par heure, on se soustrait complétement à ces discussions. La détermination de la vapeur dépensée se ferait au moyen de l'eau d'alimentation, qui peut être mesurée rigoureusement avec les compteurs à eau parfaitement exacts que l'on possède aujourd'hui.

M. Dubied indique qu'en Amérique les machines se vendent d'après le diamètre et la course de leur piston; que certains constructeurs en France commencent à prendre cette habitude, qui lui paraît aussi nécessaire pour le vendeur que pour l'acheteur. Quant à la nouvelle unité, proposée par M. Burel, il ne voit pas le grand avantage qu'on pourrait en tirer, si on réussissait à la faire accepter, ce qui est fort peu probable, car l'usage du cheval-vapeur est trop général chez les industriels pour qu'ils l'abandonnent facilement; déjà on a essayé d'introduire dans les usages la dynamie équivalente de 1,000 kilogrammètres, et on n'a pas pu y parvenir.

M. Benoit-Duportail pense que le dynamode proposé serait une unité beaucoup trop petite, quand on aura des machines un peu fortes; on se rendra, en effet, moins bien compte d'une machine de 15,000 dynamodes que d'une machine de 200 chevaux.

M. Nozo croit qu'il est indispensable de faire entrer la vitesse dans l'indication de la force d'une machine en général : pour les locomotives on n'indique pas la force en chevaux, mais on fixe la charge traînée et la vitesse, ce qui est beaucoup plus simple et plus commode.

M. Ermel dit qu'il serait très-utile d'avoir une unité fixe, comme celle proposée par M. Burel, qui n'est autre chose que le kilogrammètre; le cheval-vapeur variant suivant les localités en France. Ainsi pour les machines de bateaux, le cheval-vapeur est de 200 kilogrammètres sur les pistons, soit environ 150 kilogramm. sur l'arbre, c'est-à-dire le double du cheval-vapeur de Watt. Le cheval-vapeur qui sert à fixer la force des machines à Lille est de 100 kilogramm.; aussi les constructeurs du Nord ont-ils reconnu la nécessité d'introduire dans leurs marchés le diamètre et la course du piston, et le nombre de tours par minute.

M. Burel indique que, dans le changement qu'il propose, il désire simplement remplacer le cheval-vapeur par une unité plus facilement comparable avec le kilogrammètre; il lui est indifférent qu'on prenne le dynamode pour unité première ou un multiple du dynamode, 100 dynamodes par exemple.

M. Fourneyron cite, à l'appui de la variation de la force d'une machine, le moteur qu'il a, dans ses ateliers, vendu pour 80 chevaux : il a commencé par le faire marcher à 230 chevaux, puis à 480 chevaux, rien qu'en changeant la vitesse, la détente et la pression de la vapeur. Cet exemple montre que la force nominale d'une machine ne signifie rien, si on n'indique pas le diamètre et la course du piston, le nombre de révolutions et la pression de la vapeur dans la chaudière.

Le Président remercie M. Burel de ses communications, qui ont donné lieu à une discussion fort intéressante.

Séance du 20 Juin 1862.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

Présidence de Forquenot, *Vice-Président.*

M. Faure présente à la Société, de la part de M. Burat, *le tableau des productions houillères en France dans l'année* 1861.

Sur la demande qui lui en est faite par M. le Président, M. Faure se chargera de faire le résumé de ce travail intéressant. Les exploitations houillères, comme le constate M. Burat, ont pris en France un développement considérable; maintenant la marine emploie exclusivement les houilles françaises pour ses besoins, même dans les colonies.

M. Faure croit, à ce propos, devoir signaler à la Société le système Bouquié, qui, selon lui, sera un aide puissant pour l'industrie houillère, en permettant les transports à peu de frais sur les canaux. M. Bouquié s'est proposé de faire sur les canaux un remorquage économique, par un mode spécial de touage, qui consiste dans une disposition particulière sur le bateau des poulies qui servent à l'enroulement de la chaîne, et dans le mode de suspension de cette chaîne au passage des écluses.

Le mouvement est donné aux poulies par une locomobile. L'appareil peut être placé sur les bateaux, sans qu'il soit nécessaire de faire à ceux-ci aucune modification. Avec ce système de touage, il ne sera pas nécessaire de créer à grands frais un matériel; tous les bateliers pourraient l'adopter, et n'auraient à payer qu'une redevance pour l'usage de la chaîne, il n'y aurait donc pas d'entrepreneur, pas de frais généraux; les mariniers seraient affranchis des retards que leur faisait éprouver l'irrégularité des relais de chevaux, la vitesse pourrait être plus considérable, même dans les canaux à petite section.

Les essais qui ont été faits dans le Nord ont pleinement réussi.

M. Dubied ne pense pas qu'on puisse augmenter beaucoup la vitesse sur les canaux, il y aura toujours une limite qu'il ne faudra pas dépasser, si l'on veut ménager les berges. Il a pu s'assurer dans un voyage qu'il a fait à travers la France, du Havre à Marseille et à Cette en 1845, que ce n'est pas l'action de la roue ou de l'hélice qui détruit les berges, mais bien le remous produit par le passage à grande vitesse du bateau lui-même. A son avis, le touage ne sera pas aussi avantageux sur les canaux que sur les fleuves. Sur les canaux, le remorquage de plusieurs bateaux n'est en effet pas possible à cause des pertes de temps au passage des écluses, sur la plupart des canaux, qui ne peuvent laisser passer qu'un bateau à la fois.

On ne peut donc touer qu'un seul bateau, ce qui diminue l'avantage relatif de ce système comparé à celui des bateaux porteurs munis de roues ou d'hélices. Dans ces bateaux, le recul des propulseurs ne dépasse guère 35 p. 100. Ce recul étant propor-

tionnel au travail perdu, il en résulte qu'on ne pourra jamais espérer économiser plus de 35 pour 100 du combustible avec un système quelconque de propulseur à point fixe.

Sur les fleuves où l'on toue de longs convois de bateaux offrant une résistance bien plus grande qu'un bateau isolé, et où les propulseurs des bateaux à vapeur qui les remorquent prennent leur point d'appui sur un liquide animé d'une vitesse dirigée en sens inverse de la marche, le recul est infiniment plus considérable, et les avantages du touage beaucoup plus sensibles.

Toutefois, il n'entend pas critiquer le système dont M. Faure vient d'entretenir la Société, et qui présente sur les bateaux porteurs à roues ou à hélice employés dans les canaux, indépendamment de l'économie de 35 p. 100, le grand avantage de pouvoir utiliser tel quel le matériel de la batellerie.

M. le Président annonce le décès de M. Gerder, *membre de la Société, ancien élève de l'École centrale; M. Gerder a longtemps été attaché comme ingénieur aux entreprises de MM. Seguin frères;* il a, en cette qualité, coopéré à l'exécution d'un grand nombre d'ouvrages importants, il s'est occupé ensuite de travaux publics, de chemins de fer et de ponts.

M. le Président informe la Société que M. Perdonnet, son président honoraire, a été nommé directeur de l'Ecole centrale des arts et manufactures; il ajoute que la Société ne peut qu'applaudir à ce choix, tous les élèves de l'École savent avec quelle sollicitude M. Perdonnet s'est voué au développement de sa prospérité.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 20 décembre 1861,

de	549
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de	19
	568
A déduire par suite du décès d'un Sociétaire	1
Nombre total des Sociétaires au 20 juin 1862	567

Les versements effectués pendant le premier semestre 1862 se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc.	8,045 60	9,370 60
2° Pour la constitution du fonds social inaliénable	1,325 »	
Il reste à recouvrer en cotisations et amendes		11,937 »
Total de ce qui était dû à la Société		21,307 60

Au 20 décembre 1861, le solde en caisse était de	5,431 20	14,801 80
Les versements effectués pendant le premier semestre 1862 se sont élevés à	9,370 60	
Les dépenses du premier semestre se sont élevées à :		
1° Pour achats de 10 obligations	3,105 75	8,136 70
2° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc	5,030 95	
Il reste en caisse à ce jour		6,665 10
dont 6,069 30 pour le service courant.		
et 595 80 pour le fonds social.		
Somme égale 6,665 10		6,665 10

La Société a en outre en portefeuille 200 *obligations de chemins de fer ayant coûté* 60,245 fr. 20 c.

M. Loustau en terminant, fait remarquer combien il est regrettable que les rentrées ne soient pas régulières, et il invite les membres retardataires à s'acquitter aussitôt que possible.

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, ces comptes sont approuvés.

M. le Président adresse au trésorier, au nom de la Société, des remercîments pour sa bonne et active gestion.

M. Chavès demande la parole pour compléter la réponse qu'il a déjà faite aux observations de M. Brull.

Il rappelle ces observations, et pose la question qu'il avait à résoudre. (Voir le résumé de la séance du 25 avril.)

Il comparait le travail utile, non pas au travail moteur, mais à la dépense de charbon.

Il avait déjà comparé à cet effet les quantités d'eau vaporisées par kilog. de charbon dans les chaudières, abstraction faite de l'entraînement d'eau, comme cela se pratique toujours, faute de pouvoir faire autrement. Puis, à l'aide de la formule du travail de détente, dont l'exactitude a été reconnue suffisante pour ces sortes de machines, il avait comparé les travaux produits théoriquement pour un même volume de vapeur.

En combinant ces deux comparaisons, et supposant le coefficient de rendement K le même, il avait trouvé qu'il y avait compensation, c'est-à-dire que l'avantage résultant de la détente dans l'une contre-balançait l'avantage résultant de la supériorité de vaporisation dans l'autre.

Mais, l'observation directe ayant donné définitivement un avantage de 55 pour 100 en faveur de la locomobile, il était conduit à conclure que les coefficients de rendement devaient être différents dans chaque machine, et il a cherché à les déterminer.

Pour cela, il n'a vu d'autre moyen que de se servir de l'eau sortie de la bache alimentaire.

Et, en effet, la vapeur formée ne parvient pas entièrement en volume et pression sur le piston de la machine, et comme la portion perdue n'en a pas moins consommé de charbon, il fallait bien l'introduire dans le calcul du rendement du charbon consommé. L'indicateur de Watt eût donné le travail réellement produit par le piston; il eût encore donné la différence de pression entre le cylindre et la chaudière, mais on ne voit pas comment on eût pu en déduire le travail perdu par cette différence de pression, et c'était là l'important, puisqu'on a vu par la note qu'en retirant ce travail, les autres travaux perdus, restants, seraient sensiblement les mêmes dans les deux cas.

M. Chavès a bien dit dans sa note qu'il avait regretté de n'avoir pas eu d'indicateur à sa disposition, mais c'était surtout pour le cas tout exceptionnel où il avait à rechercher le travail produit par l'une des deux plus vieilles machines, vieilles comme date d'installation, comme durée de service sans réparation.

Dans ce cas, il avait des doutes, qu'il aurait désiré pouvoir éclaircir au moyen de diagrammes.

M. Chavès pense que M. Brull a attribué trop d'influence à l'eau entraînée.

Il rappelle à ce sujet :

Que dans la chaudière locomobile comparée, les pertes de toutes natures, eau en-

traînée, fuites de vapeur, refroidissements, etc., ne formaient ensemble que 0,05 de V; et que par conséquent l'eau entraînée n'était qu'une fraction de ces 0,05 V;

Que dans la machine fixe comparée, il fait remarquer que, par suite d'une disposition erronée des carneaux, il y avait eu séchage de vapeur;

D'où l'on peut être fondé à croire que la quantité d'eau entraînée avait dû être faible également dans cette expérience.

Il se demande si on ne peut supposer que l'entraînement de l'eau a été proportionnel dans les deux cas; et alors, comme il ne cherchait que des rapports, la comparaison aurait été rigoureusement vraie.

Il conclut en disant que si on n'admet pas cette proportionnalité, ce qu'il serait peut-être bon de justifier, la comparaison doit encore être considérée comme vraie à des quantités négligeables près. Et la preuve, c'est qu'elle donne des résultats conformes à ceux de l'observation directe.

Il n'a pas attribué aux machines une perte qui provenait du fait des chaudières, car la différence entre le volume engendré pendant l'admission et le volume de vapeur dépensé provient de diverses causes appartenant au cylindre.

Une partie de cette différence provient des espaces nuisibles qui ne sont pas compris dans le volume engendré pendant l'admission, une autre portion peut provenir des fuites et condensations dans les tiroirs, tuyaux, robinets et cylindre, car la vapeur n'arrive pas à un cylindre non enveloppé, surtout, avec toute la pression qu'elle avait dans la chaudière.

M. Chavès cite à ce sujet les expériences suivantes :

Dans une expérience sur une machine du type n° 1, dans laquelle on a fait marcher alternativement le tiroir à pleine pression et à détente au quart, il a été trouvé :

1° En 2 expériences sur une même machine :

Avec marche sans détente $\frac{V'}{V} = 1,25$.

Avec marche à détente au quart $\frac{V'}{V} = 2,00$.

2° En 2 autres expériences, sur une autre machine :

Avec marche à détente au cinquième $\frac{V'}{V} = 2,10$.

Avec marche à pleine pression pendant un demi-tour, et détente au tiers pendant l'autre demi-tour $\Big\} \frac{V'}{V} = 1,56$.

Dans ses expériences, M. Mathias avait trouvé avec même machine et même chaudière :

Pour détente à 0,30 $\frac{V'}{V} = 2,05$ à $2,30$,

et pour détentes moins prolongées, ce rapport diminuait jusqu'à 1,27 et 1,10.

Il ressortirait de ces expériences qu'il y a eu un volume de vapeur supplémentaire égal à 1/4 de cylindre *e*, employé à peu près constamment le même pour remplir les espaces nuisibles et compenser les pertes qui ont lieu entre la chaudière et le piston, et comme ce volume est le même, quelle que soit la détente, il paraîtrait qu'il est dépensé dès l'origine de l'admission.

Quoi qu'il en soit, les chiffres qu'on vient de citer montrent que le rapport de $\frac{V'}{V}$ indiqué égal à 2,1 dans le Mémoire, n'a rien d'anomal.

M. Chavès rappelle en insistant, que ces expériences ont été faites sur une machine construite par un de nos premiers constructeurs et mise en parfait état de fonctionnement avant de subir des essais dont les conséquences devaient avoir une grande importance.

Arrivant à la discordance qu'on a signalée entre les coefficients de rendement indiqués dans la note, et ceux dont on se sert habituellement, M. Chavès dit qu'il n'avait pas à se préoccuper de la concordance à établir entre des chiffres qui ne représentent pas du tout la même chose. Il s'est appliqué à faire ressortir dans sa note que ses coefficients étaient particuliers au but qu'il se proposait, c'est-à-dire à la comparaison des consommations de charbon.

Et quant à leur vérification, il pense qu'elle résultait suffisamment de leur confirmation par les résultats immédiats d'observation.

Mais que cependant, si l'on tenait à rétablir cette concordance, on pourrait encore en trouver une en prenant les coefficients que donne Claudel, et qu'il y a lieu de croire puisés à bonne source.

En effet :

1° Pour machine de 4 à 8 chevaux, sans condensation et sans détente, Claudel donne : K = 0,61.

Et dans la note on a trouvé K = 0,54, pour machine de 5 à 6 chevaux.

2° Pour machines sans condensation, mais à détente, Claudel donne :

Pour 4 à 8 ch., K = 0,45; 10 à 20 ch., K = 0,58; 30 à 50 ch., K = 0,70;
60 à 100 ch., K = 0,61.

D'après cette loi de progression, K devrait être au plus de 40 pour 100 pour machine de 4 chevaux, mais Claudel ajoute qu'en outre on augmente V de 1 dixième pour tenir compte des fuites de vapeur ; cela revient à réduire K à 36 pour 100 ; de plus, Claudel calcule avec la pression de la vapeur mesurée dans le cylindre, qu'il indique être inférieure de 1/2 atmosphère à celle de la chaudière, quand cette dernière est de 4 à 5 absolus. Or, 1/2 sur 4 absolus, ou 3 effectifs, cela revient encore à réduire K d'environ 1 sixième, ce qui le ramène à 30 pour 100 au plus.

Dans la note on a donné K = 0,263 et 0,287, et on a pris dans les calculs K = 0,28. La concordance existe donc réellement bien, mais seulement en donnant à chacun des coefficients la signification qui lui est propre et qui est la suivante :

Le K ordinaire représente le rapport entre le travail réel sur le piston et le travail sur l'arbre moteur ; mais, abstraction faite des pertes de vapeur et de pression par fuites, refroidissements, condensations, etc., celui de la note résume toutes ces pertes et s'applique par conséquent au travail total qu'aurait pu produire le charbon dépensé, car son but est la comparaison des consommations de charbon, et on ne peut plus faire abstraction de la vapeur perdue, puisqu'elle a consommé du charbon, tout autant que la vapeur utilisée efficacement.

M. Ermel appelle l'attention de la Société sur le coefficient de rendement des machines fixes expérimentées par M. Chavès. La faiblesse de ce coefficient, qui varie de 0,263 à 0,287, dépend certainement de la grande perte de vapeur signalée dans les résultats des expériences, perte qui d'après M. Ermel ne devrait pas entrer, au moins en totalité, dans le coefficient de rendement de la machine. En effet, si on se reporte à la définition du coefficient K, donnée dans les traités de machines à vapeur, on voit que ce coefficient est le rapport du travail disponible sur l'arbre de la machine, à celui développé sur le piston. Il est évident alors que, si on calcule le volume

de vapeur entrant dans le cylindre à vapeur par le poids de l'eau alimentée, mesuré dans la bâche alimentaire, on fait entrer dans le coefficient K de la machine les fuites de la pompe alimentaire, celles de la chaudière et des tuyaux de vapeur, enfin la condensation dans les tuyaux de vapeur; pertes qu'on doit toujours séparer lorsqu'on veut être fixé sur la valeur d'une machine à vapeur. Si on se reporte maintenant aux nombres donnés par M. Chavès, on voit que le volume de vapeur existant à l'état de vapeur dans le cylindre, au moment où la détente commence, est de 5,57 litres par seconde; c'est donc ce volume, augmenté de la condensation intérieure du cylindre, qu'il faudrait faire entrer dans la formule générale, exprimant la force de la machine à vapeur, pour en tirer la valeur du coefficient K. La condensation intérieure des cylindres à vapeur, sans enveloppe de vapeur, a été trouvée, d'après les nombreuses expériences faites par des ingénieurs habiles, de 25 à 30 pour 100 du volume de vapeur fourni à la machine, ce qui donnerait, dans le cas actuel, une condensation de $1^l,83$ à $2^l,33$ de vapeur; la vapeur absorbée par la machine serait donc de $7^l,40$ à $7^l,90$ par seconde, et non $12^l,06$ que suppose M. Chavès. La valeur de K varierait donc alors de 0,42 à 0,45, ce qui se rapproche beaucoup du coefficient admis pour les machines de 4 chevaux.

M. Ermel, en face de ces résultats, croit qu'il serait fort intéressant, en même temps nécessaire, de s'assurer d'où provient la perte de vapeur qu'indiquent les expériences de M. Chavès sur les machines fixes. Le moyen le plus simple serait évidemment de prendre pendant les essais au frein des diagrammes sur le cylindre à vapeur, ce qui ferait reconnaître les fuites qui existent probablement au piston ou au tiroir à vapeur.

M. Faure explique les avantages des locomobiles sur les machines fixes, par le peu de distance qui existe entre les cylindres et la chaudière, mais il n'admet pas que les coefficients pris dans l'ouvrage de M. Claudel puissent être appliqués sans contrôle, dans un cas particulier, comme l'a fait M. Chavès; ce sont des moyennes d'expériences déjà anciennes qui ont besoin d'être examinées scrupuleusement.

M. Nozo pense qu'il y avait trop d'inconnues intermédiaires dans le mode expérimental suivi par M. Chavès, pour que les résultats obtenus soient bien concluants.

Il a eu, dans la série d'expériences, variation à la fois dans le combustible, dans le système de chaudière, dans le mécanisme des machines, dans la transmission de mouvements, dans les pompes qui servaient à élever l'eau, dans la hauteur à laquelle l'eau était élevée. Pour rendre les expériences comparables, il y avait un grand nombre de corrections à faire, et pour faire ces corrections en connaissance de cause, il aurait fallu faire d'autres expériences. Les erreurs ont pu s'ajouter aussi bien que se compenser.

M. Chavès répond qu'il a fait ces expériences spéciales pour rendre comparables les consommations avec diverses natures de combustible, et que c'est en vertu de ces expériences que les corrections ont été faites; qu'il a bien négligé les variations de système de pompes, mais qu'il a fait voir en terminant que ces variations avaient peu d'importance dans la question; qu'il ne restait donc plus d'inconnues que les chaudières et les machines, qu'il a comparées séparément, et que d'ailleurs il n'a comparé les consommations de charbon des machines que pour des hauteurs d'élévation moyennement les mêmes.

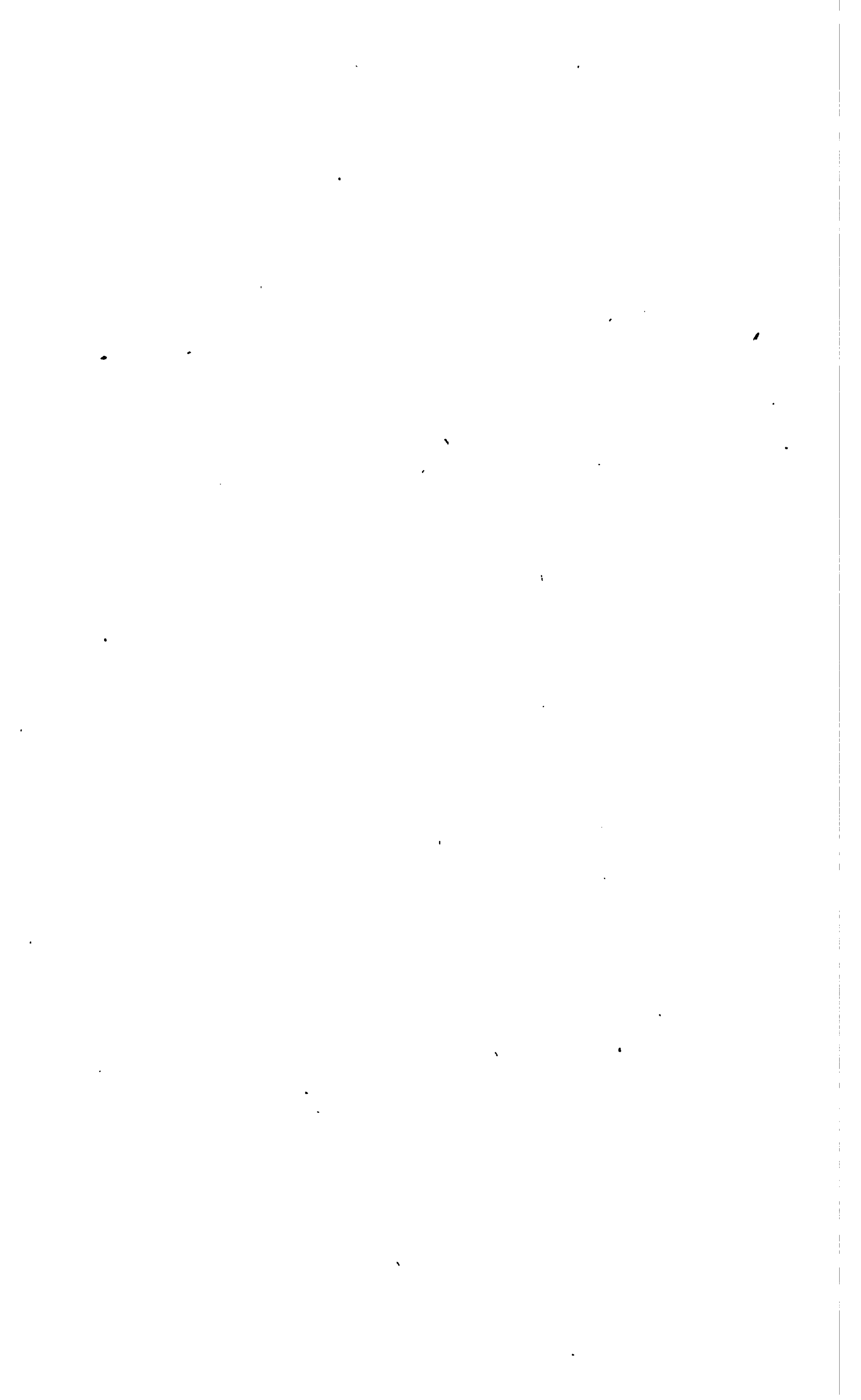
M. Faure ne pense pas qu'il soit possible de faire des corrections, en admettant qu'on ait déterminé le travail utile des pompes, on ne pouvait calculer exactement les pertes par frottement, tant des pistons que des transmissions de mouvements. Les

machines devaient être bien mauvaises pour ne donner que le travail indiqué par M. Chavès, il fallait qu'il y eût des fuites.

M. Nozo fait remarquer qu'en prenant des précautions très-simples au chemin du Nord, on a pu, avec une perte qui n'est que de 1/4 d'atmosphère, faire fonctionner régulièrement une machine à 120 mètres de distance de sa chaudière; la perte par condensation de vapeur est donc très-faible, et n'explique pas le chiffre énorme auquel est arrivé M. Chavès.

M. Chavès rappelle ce qu'il a dit précédemment sur la concordance de ses expériences avec celles de M. Ferdinand Mathias, et il croit ne pas s'être trompé.

M. Dubied appuie les observations de M. Nozo et celles de M. Ermel. Il désirerait que des diagrammes eussent été pris. Il voudrait que M. Chavès éliminât les expériences qui n'ont duré que trois quarts d'heure. L'expérience lui a démontré, dans des essais de chaudières, que la marche de ces appareils présentait, à la mise en train surtout, des anomalies fréquentes dues à des causes secondaires dont on ne parvient souvent à annuler l'influence qu'au bout de quelques jours de marche : ce n'est qu'alors que l'allure devient régulière et qu'il est possible de faire des observations vraiment correctes. Il conviendrait aussi d'éliminer les expériences dans lesquelles le combustible était de qualité inférieure, formé de poussières et de balayures, dont la composition n'est jamais bien uniforme.



NOTE

SUR LES

MACHINES A ÉLEVER L'EAU

DANS LES CHEMINS DE FER

PAR

M. CHAVÈS.

Nous avons eu fréquemment occasion de faire des expériences sur des machines à élever l'eau, et nous avons cherché à déduire de ces expériences, des comparaisons et des coefficients qui pussent servir de base dans les calculs relatifs au choix et à l'établissement de ces machines.

La présente note a pour but d'exposer les résultats que nous avons ainsi obtenus.

Les machines expérimentées comprenaient des pompes à bras et des pompes à vapeur.

1. *Des pompes à bras.*

Les pompes à bras se divisent elles-mêmes en deux genres principaux : les pompes à balancier, genre à incendie, et les pompes à volant et manivelle.

Le tableau suivant n° 1 donne le résumé des observations faites sur ces divers appareils,

Il en résulte que :

Un homme produit par jour :

1° Avec une pompe à balancier. . . . . 75.000^{km}.

2° Avec une pompe à volant. . . . . 142.000 .

C'est-à-dire, par exemple, qu'un homme élève à 10 mètres de hauteur, dans un jour :

1° Avec une pompe à balancier. . . . . $7^{mc}.50$

2° Avec une pompe à volant. . . . . $14^{mc}.23$

soit près du double.

TABLEAU N° 1. — Expériences sur les pompes à bras.

Numéros d'ordre des pompes.	INDICATION des SYSTÈMES DES POMPES.	Hauteur totale d'élévation, y compris les pertes de charges dues au frottement dans la conduite.	Nombre moyen de coups de piston donnés par minute.	DÉBIT DES POMPES. Volume engendré par le piston, dans une course.	Volume d'eau réellement arrivé aux réservoirs, par coup de piston.	Rapport entre le volume d'eau arrivé aux réservoirs, et le volume engendré, par coup.	TRAVAIL DE UN HOMME. Par heure de travail effectif.	Par journée de 10 heures.
		mèt.		litres.	litres.	p. 100.	kilogrammèt	kilogrammèt
1	Pompe à balancier aspirante et foulante, à deux corps de pompe et deux pistons de 0m,12 de diamètre et de 0m,25 de course.	9.50	21	3.10	2.45	78	12180	60900
2	Id.	11.50	18	3.15	2.33	74	14670	73350
3	Id.	9.80	18	3.06	2.42	79	15580	77900
4	Pompe à balancier aspirante et élévatoire, à deux corps, et à deux pistons de 0m,10 de diamètre et 0,18 à 0,20 de course.	11.05	37	1.57	1.50	95	14970	74850
5	Id.	11.66	27	1.57	1.37	87	14000	70100
6	Id.	6.12	50	1.57	1.44	91	14640	73200
7	Id.	7.55	35	3.39	3.06	90	15580	77900
8	Id.	9.00	40	1.57	1.47	93	16030	80150
9	Id.	24.20	37	1.10	1.05	96	17790	88950
10	Pompe à volant et manivelle aspirante et élévatoire, à deux corps et deux pistons de 0m,07 de diamètre et 0,20 de course	10.50	46	0.90	0.84	93	24280	121400
11	Id.	15.50	50	0.766	0.720	94	32720	163600
12	Pompe à volant et manivelle aspirante et élévatoire, à un corps et un piston de 0m,12 de diamètre et 0m,18 de course...	8.30	57	2.03	2.00	98	28250	141250

Dans ces expériences, chaque homme pompait pendant un quart d'heure sans interruption et se reposait ensuite un quart d'heure également, de façon qu'au bout de sa journée de dix heures, il avait fourni un travail effectif de cinq heures, et s'était reposé pendant cinq heures, non compris le temps des repas.

Le résultat de ces expériences peut encore être présenté de la manière suivante :

Un homme produit en moyenne dans un jour de dix heures :

1° Avec une pompe à balancier, 2km,08 par seconde, ce qui correspond à 0ch,028.

2° Avec une pompe à volant, $3^{km},95$ par seconde, ce qui correspond à $0^{ch},053$.

Remarquons encore qu'il ressort du tableau n° 1 que la force à dépenser pour un même travail *P.h* à produire est d'autant moindre que *h*, la hauteur d'élévation, est plus grande ; car :

1° Pour les pompes à balancier :

Expérience 9. En élevant à 24 mèt., un homme produit. . 89.000^{km}

Expériences 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. En élevant de 6 à 12 mèt., un homme produit. 73.500

2° Pour les pompes à volant :

Expérience 11. En élevant à $15^{m},50$, un homme produit. 163.000

Expérience 10 et 12. En élevant à 8 à 10 mèt., un homme produit. 131.300

C'est-à-dire que la même force de un homme produit un travail plus grand quand elle est appliquée à élever l'eau, à une plus grande hauteur.

2. *Du choix à faire entre les deux systèmes de pompes, à balancier et à volant.*

En combinant les nombres indiqués au tableau n° 1 avec la valeur de chacun de ces appareils et le prix de la journée de manœuvre, on arrivera à déterminer quelle est la pompe dont l'emploi est le plus économique dans chaque cas. On trouvera presque toujours ainsi que l'avantage est en faveur de la pompe à volant ; cependant, pour des besoins de peu d'importance ou de peu de durée, la pompe à balancier peut être préférée à cause de sa facilité d'installation.

Dimensions des manivelles.

Nous terminerons ce qui concerne spécialement les pompes à bras en ajoutant que pour les pompes à volant les meilleurs résultats nous ont été donnés par des manivelles de $0^{m},33$ à $0^{m},35$ de rayon, avec effort de 6 k. à l'extrémité, et vitesse de 40 à 50 tours par minute.

EXPÉRIENCES SUR LES MACHINES A VAPEUR.

3. Les machines expérimentées se divisent principalement en machines fixes et machines locomobiles.

Les machines fixes sont généralement à détente à partir du 1/3 au 1/5 de la course du piston, et ont des chaudières à bouilleurs ou à réchauffeurs.

Les machines locomobiles ne détendent qu'à partir des 4/5 de la course du piston, et ont des chaudières tubulaires, ordinaires ou à retour de flamme.

Le tableau suivant n° 2 donne le résumé de 74 expériences faites sur ces diverses machines.

TABLEAU N° 2. — *Expériences sur les Machines à vapeur.*

NUMÉROS D'ORDRE DES MACHINES.	INDICATIONS SUR LES MACHINES EXPÉRIMENTÉES. — MACHINE. Système.	MACHINE. Nombre de tours de volant par minute.	MACHINE. Force nominale dite.	POMPE. Système.	POMPE. Volume engendré par le piston dans la course.	CHAUDIÈRE. Système.	CHAUDIÈRE. Surface de chauffe du foyer ou du générateur.	CHAUDIÈRE. Surface de chauffe des tubes ou des bouilleurs.	CHAUDIÈRE. Surface de chauffe totale.	RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES. — OBSERVÉS. Numéros d'ordre des expériences.	OBSERVÉS. Durée de l'expérience.	OBSERVÉS. Quantité de charbon brûlé dans l'expérience, non compris l'allumage.	OBSERVÉS. Volume d'eau élevé aux réservoirs dans l'expérience.	OBSERVÉS. Hauteur totale d'élévation.	CALCULÉS. Quantité d'eau vaporisée par 1 kil. de charbon brûlé.	CALCULÉS. Volume d'eau arrivé aux réservoirs par coup de piston des pompes.	OBSERVATIONS. Nature et qualité du combustible employé dans l'expérience
			ch.		lit.		m².	m².	m².		h. m.	kil.	m. c.	m.	lit.	lit.	
1	Machine verticale à détente variable, sans condensation et à action directe.	20	4	Un seul corps à plongeur, simple effet, aspirant et foulant.	20.90	Un générateur et deux réchauffeurs, placés sur le côté.	2.04	4.00	6.04	1	9.51	180	254	21.6	6.25	19.94	Expérience exceptionnelle, hors de comparaison.
										2	10.00	197	221	21.6	5.20	19.9	Houille de bonne qualité.
										3	7.06	168	133	21.6	4.84	«	Mélange de coke et de poussier.
										4	12.00	300	253	21.6	«	«	Id.
										5	13.13	260	290	21.6	«	«	Houille de bonne qualité.
2	Id.	30 à 35	4	Id.	7.70	Id.	Id.	Id.	6.04	6	8.00	140	112	13	4.40	7.0	Mélange de coke et de poussier.
										7	9.15	140	131	13	«	«	Houille ordinaire.
										8	8.45	134	120	13	4.35	«	Id.
3	Id.	15	4	Id.	16.90	Id.	Id.	Id.	6.04	9	8.00	120	114	24	5.00	16.10	Houille de bonne qualité.
										10	9.45	149	138	24	«	«	Id.
4	Id.	20	4	Id.	17.20	Id.	Id.	Id.	6.04	11	4.00	65	70	14	«	15.30	Id.
										12	3.45	63	62	14	«	15.00	Id.
5	Id.	20	4	Id.	8.40	Id.	Id.	Id.	6.04	13	9.25	119	100	12	4.80	7.60	Id.
Id.	Id.	Id.	Id.	Même pompe avec un piston élévatoire à clapet en plus; double effet au refoulement.	17.27	Id.	Id.	Id.	6.04	14	5.25	110	115	12	5.10	15.23	Poussier de houille.
										15	4.50	105	89	12	5.20	«	Id.
										16	2.32	62	56	12	«	17.00	Id.
										17	3.00	80	60	12	5.10	16.50	Houille bonne qualité.
										18	6.00	94	117	12	«	16.70	Id.
										19	4.30	97	87	12	«	16.50	Poussier de houille.
6	Id.	18	4	Un seul corps à 1 seul piston élévatoire à simple effet.	11.04	Id.	Id.	Id.	6.04	20	9.45	155	185	33	4.30	10.04	Houille ordinaire.
										21	5.00	120	75	33	4.30	«	Mélange de coke et poussier.
										22	4.00	115	57.5	33	4.55	9.40	Mélange de houille et poussier.
7	Id.	35	2	Un plongeur et un piston à clapet; double effet au refoulement.	8.50	Un générateur et un seul réchauffeur sur le côté.	1.57	1.73	3.30	23	5.00	52	70	9	«	8.00	Houille bonne qualité.
										24	6.30	52	80	9	«	«	Id.
										25	7.25	69	102	9	«	«	Id.
										26	5.05	35	49	9	«	«	Menu coke.
8	Machine verticale à détente variable, sans condensation, action directe par arbre coudé.	45	2	Deux corps et deux pistons élévatoires.	7.90	Id.	1.57	1.73	3.30	27	4.50	50	66	11	«	7.10	Houille bonne qualité.
										28	5.35	40	62	11	«	7.70	Houille de première qualité.
										29	9.36	80	93	11	«	«	Houille ordinaire.
										30	3.30	60	53	11	«	«	Mélange de menu coke et poussier.

9	Machine à balancier d'ol. Evans, action dir., détente variable sans condensation.	28	8	Quatre corps et quatre pistons élévatoires.	26.20	Un générateur et un seul réchauffeur sur le côté.	4.00	4.00	8.00	31	4.00	105	120	29		16.30	Houille de 1re qualité, choisie.
										32	4.35	140	134	24		16.50	Houille ordinaire.
10	Id.	30	2.5	Deux plongeurs élévatoires.	15.00	Id.	2.00	2.00	4.00	33	3.00	75	61	28	4.90	12.00	Houille de bonne qualité.
										34	5.54	71	55	28	5.00	11.20	Mélange de coke et de poussier de houille.
										35	3.23	59	39	28	4.95	11.60	Id.
11	Id.	35	2.5	Id.	12.50	Id.	2.00	2.00	4.00	36	3.50	85	81	13		9.10	Id.
										37	5.50	80	77	13		7.60	Id.
										38	3.50	62	38	13		9.15	Id.
12	Machine vert. à dét. variable, sans condens.; action dir.	22	8	Un seul corps, un seul piston plein à double effet.	26.30	Un générateur et un seul bouilleur au-dessous.	4.00	9.00	13.	39	4.00	140	102	55		20.47	Houille ordinaire.
13	Machine horizontale à détente var., sans condens.; act. dir.	35	2	Deux pistons élévatoires.	3.80	Un générateur et un seul bouilleur de côté.	1.50	1.70	3.20	40	5.48	70	64	18		3.60	Menu coke.
										41	8.10	70	54	18		3.60	Id.
14	Id.	Id.	2.50	Id.	4.15	Un gén. et deux bouilleurs ordinaires au-dessous.	2.40	1.80	4.20	42	6.12	80	75	9.5		4.10	Id.
15	Id.	Id.	2.50	Id.	3.80	Id.	Id.	Id.	Id.	43	2.25	36	33	13		3.50	Id.
16	Machine Woolf à bal.; détente fixe et condensat.; action dir.	20	15 à 18	Deux pistons plongeurs conjugués.	40.00	Un générateur et deux réchauffeurs placés de côté.	8.20	19.80	28.0	44	5.00	219	229	82		35.60	Houille 1re qual. Conditions exceptionnelles d'exp.
										45	5.00	280	201	79		32.70	Houille ordinaire.
17	Machine horizont.; dét. var.; sans condens.; action dir.	24	3	Un plongeur à simple effet.	18.90	Un générateur seulement.	3.90	«	3.90	46	6.09	130	129	15		16.90	Houille de bonne qualité.
										47	3.00	27	64	10	6.40	11.03	
18	Machine locomobile; action indirecte; 0,8 d'introduction du cylindre.	120	3	Pompe à 2 corps et 2 pistons élévatoires, marchant à 27 à 28 coups par min.	14.00	Chaudière tubulaire ordinaire.	0.90	3.74	4.64	48	5.00	48	91	10		11.50	Poussier de houille.
										49	4.00	36	79	15		12.13	Id.
										50	1.25	10	25	10.5	6.40	13.40	Id.
										51	5.00	60	106	11		12.60	Id.
																	Id.
19	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	4.64	52	3.30	36	75	11	6.67	13.40	Poussier de houille et menu coke.
20	Id.	Id.	Id.	Id.	10.00	Id.	Id.	Id.	Id.	53	4.05	45	60	26	6.87	9.23	Id.
21	Id.	Id.	Id.	Id.	14.00	Id.	Id.	Id.	Id.	54	3.00	30	65	8.5		14.14	Id.
										55	4.00	36	70.8	11		10.80	Id.
22	Id.	140	2	Id.	10.00	Chaudière tubulaire à retour de flamme.	«	«	3.20	56	4.40	58	90	12.5	6.40	9.66	Houille ordinaire.
										57	3.90	21	51.6	13		8.61	Menu coke et poussier de houille.
										58	5.35	48	81	12.5	6.75	9.66	Id.
23	Id.	120	3	Id.	8.00	Chaudière tub. ord.	«	«	4.64	59	3.00	30	36	43		7.20	Id.
24	Id.	Id.	Id.	Id.	14.00	Id.	«	«	4.64	60	2.00	20	43	20			Houille ordinaire.
										61	5.00	58	100	15	6.84	13.40	Id.
										62	1.30	15	27.65	18.5		12.18	Houille menue mélangée de poussier.
25	Id.	Id.	Id.	Id.	10.40	Id.	«	«	4.64	63	4.00	50	60	43		9.15	Id.
										64	2.37	47	35	43		9.67	Id.
										65	4.00	68	55	44			Id.
26	Id.	Id.	Id.	Id.	14.00	Id.	«	«	4.64	66	4.00	44	86	18		13.00	Id.
										67	2.12	26	46.5	18	6.72	13.00	Id.
27	Id.	140	2	Id.	10.40	Chaud. tub. à retour de fl.	«	«	3.20	68	2.30	27	47	13.5		8.01	Id.
28	Id.	120	3	Id.	Id.	Chaudière tub. ord.	«	«	4.64	69	4.00	44	52.9	20		8.53	Id.
										70	2.30	27	32.8	17.5	6.68	8.30	Id.
29	Id.	Id.	Id.	Id.	14.00	Id.	«	«	Id.	71	4.00	48	68.8	10		10.50	Id.
30	Id.	Id.	Id.	Id.	10.40	Id.	«	«	Id.	72	4.00	62	65.3	23		8.30	Coke très-impur.
31	Id.	110	6	Id.	24.00	Id.	1.48	7.12	8.60	73	2.40	40	91	15	7.00	22.75	Coke.
32	Id.	Id.	Id.	Id.	14.00	Id.	Id.	Id.	Id.	74	4.00	40	98	25		14.70	Id.

Observations sur la formation du tableau n° 2.

1. On a indiqué comme surface de chauffe exactement celle qui résulte des formes et dimensions de la chaudière et des carneaux.

2. *La hauteur totale d'élévation* est formée de la différence entre les niveaux de l'eau à la source et aux réservoirs, augmentée de la perte de charge due au frottement de l'eau dans les conduites, calculée d'après les tables.

3. *Charbon brûlé.* On n'a pas tenu compte des quantités de charbon employées à la mise en pression ; on a seulement mesuré le charbon brûlé pendant la marche de la machine.

4. *Cube d'eau vaporisé.* Tous les nombres inscrits ont été réellement trouvés tels pour chacune des machines auxquelles ils correspondent, mais quelques-uns résultent d'expériences spéciales autres que celles qui figurent en regard dans le tableau.

5. *Débit des pompes.* Pour les pompes à deux pistons, nous avons pris le débit des deux à la fois, soit le double de l'un d'eux.

CONSÉQUENCES DU TABLEAU N° 2.

1. *Comparaison entre les consommations de charbon des différentes machines expérimentées.*

1° Quantités d'eau élevées à diverses hauteurs par 1 kilog. de houille brûlé dans les machines fixes.

Tableau n° 3 déduit du tableau n° 2.

HAUTEUR totale d'élévation.	QUANTITÉ d'eau élevée par 1 kil. de charbon.	NUMÉROS D'ORDRE des expériences du tableau n° 2, servant à l'établissement des moyennes.	FORCE NOMINALE des machines. — Moyenne.	TRAVAIL UTILE de la machine dans l'expérience. — Moyenne.	ÉTAT DES POMPES. — Rapport entre le débit obtenu et le débit théorique.	OBSERVATIONS.
mèt.	m. c.	numéros.	ch.	ch.	p. 100.	
De 9 à 11	1.40	23, 24, 25, 27, 28, 29, 30.	2	0.55	93	Les consommations de charbon sont toutes ramenées à ce qu'elles eussent été si on n'eût brûlé que de la houille. La transformation a été opérée (en vertu d'expériences spéciales préalables) en ajoutant 1 quart aux cubes d'eau élevés par 1 kil. de mélange de houille et poussier, et 1 demi aux cubes d'eau élevés par 1 kilog. de poussier seul. Cette opération a été exécutée sur les résultats bruts des expériences 3, 4, 14, 15, 16, 19, 36, 37, 21, 22.
12	1.28	14,15,16,17,18,19.	4	0.90	92	
13	1.04	36, 37, 43.	2.5	0.65	92	
14	0.97	11, 12.	4	0.95	88	
18 à 21.6	1.00	2, 3, 4, 5, 40, 46.	4	1.65	93	
24	0.95	9, 10.	4	1.30	95	
28	0.78	33, 34, 35	2.5	2.10	78	
29	1.05	31, 32.	5	3.05	86	
33	0.78	20, 21, 22.	4	1.85	88	
55	0.75	39.	8	5.20	78	
NOTA. — Les expériences supprimées n°s 26, 42, 13, 6, 7, 8, 38 et 41, donnaient les rendements suivants :						Pour motifs, expliqués à la suite, nous avons élagué du résumé les expériences 6, 7, 8, 13, 26, 38, 41, 42, dans lesquelles le travail utile n'est que de un 6e à un 10e de la force nominale. Nous avons également supprimé les expériences 44 et 45, faites sur une machine à condensation unique, et l'expérience 1, faite dans des conditions exceptionnelles.
9	1.15	(26)	2	0.30	90	
9.50	0.95	(42)	2.5	0.40	99	
12	0.89	(13)	4	0.40	90	
13	0.90	(6, 7, 8, 38)	4	0.60	70	
18	0.77	(41)	2.5	0.40	93	

2° Quantités d'eau élevées à diverses hauteurs par 1 kilog. de houille brûlé dans les machines locomobiles.

Tableau n° 4 déduit du tableau n° 2.

HAUTEUR totale d'élévation.	CUBE d'eau élevé par 1 kil. de charbon brûlé.	NUMÉROS D'ORDRE des expériences du tableau n° 2, ayant servi à former les moyennes.	FORCE nominale de la machine.	TRAVAIL utile de la machine dans l'expérience.	ÉTAT de la pompe. Rapport entre le débit obtenu et le débit théorique.	OBSERVATIONS.
mèt.	m. c.	numéros.	ch.	ch.	p. 100.	
8 à 10	2.11	4, 7, 48, 50.	3	0.70	88	Nous avons supprimé les expériences n°s 59 et 63 qui nous ont paru erronées.
11 à 13	2.08	51, 52, 55, 56, 57, 58.	2.5	1.40	88	
15 à 18	1.85	49, 61, 62, 67, 68, 70, 73.	3	1.25	88	Les cubes d'eau élevés par 1 kilog. de charbon sont exactement les mêmes que ceux du tableau n° 2. Nous n'avons pas trouvé qu'il y eût lieu de leur faire subir aucune correction relative à la nature ou à l'état du combustible employé.
20 à 26	1.50	53, 60, 69, 72, 74.	3	1.20	92	
43 à 45	0.78*	64, 65.	3	2.00	90	
NOTA. — Les expériences supprimées donnaient :						
43	1.20	59	3	2	90	
43	1.22	63	3	2	90	

* Cette machine perdait beaucoup par le tiroir, qui consommait 1,70 p. 100 de volume théorique, au lieu de 1,13 moyennement observé sur les autres machines.

En comparant les deux tableaux n°s 3 et 4, on en conclut:

TABLEAU n° 5.

HAUTEUR totale d'élévation aux réservoirs.	CUBE D'EAU ÉLEVÉ AUX RÉSERVOIRS par kil. de charbon brûlé, non compris l'allumage. pour machine fixe.	pour machine locomobile.	OBSERVATIONS.
mèt.	m. c.	m. c.	
10 à 13	1.26	2.08	Le rapport du travail utile à la force nominale est en moyenne de 0,39 pour les machines fixes, et de 0,45 pour les machines locomobiles.
15 à 25	1.00	1.67	
28 à 33	0.84		
43 à 45		0.78*	* Voir la note relative à ce chiffre, tableau n° 4.
55	0.75		
10 à 55	0.96	1.51	Moyenne générale. Différence : 55 p. 100 en faveur de la machine locomobile.

Du minimum de consommation d'une même machine.

Nous venons de dire, en résumant les expériences faites sur les machines fixes (tableau n° 3), que nous laissions de côté un certain nombre

d'expériences dans lesquelles on n'avait employé que de 1/6 à 1/10 de la force nominale de ces machines.

La raison en est que les machines locomobiles utilisent une plus grande partie de leur force nominale dans les expériences du tableau n° 4, et que nous nous sommes attaché à ne conserver autant que possible, dans la comparaison des consommations de ces machines (tableau n° 5) que les expériences dans lesquelles la portion de force nominale employée par les deux espèces de machines serait moyennement à peu près la même.

5. Et en effet, une machine consomme d'autant moins de charbon (par cheval et par heure), qu'elle travaille à une force plus voisine de sa force nominale, ainsi que nous allons essayer de le prouver expérimentalement.

On voit d'abord par le tableau n° 2 qu'une même machine de 4 ch. produit $0^{mc},83$ par kilog. avec un piston de $8^{l},40$ par coup, et $1^{mc},29$ avec un piston de 17 litres (Exp. 13, 17, 18).

Mais nous pouvons citer à ce sujet quelques expériences qui ne figurent pas au tableau n° 2, et qui ont été faites dans des conditions exceptionnelles de précautions.

Ces expériences ont donné les résultats suivants :

1° *TABLEAU* n° 6. *Machine n° 1 du tableau n° 2, 4 chevaux de force nominale. Surface de chauffe*, $6^{m},40$. *Détente variable. Sans condensation.*

OBSERVATIONS, Toutes ces expériences ont eu lieu à la suite les unes des autres : la 1re un jour, la 2e le lendemain, et la 3e le jour suivant.	DURÉE de chaque expérience.	Force développée par la machine dans chaque expérience mesurée au frein de Prony.	Quantité totale de charbon brûlé pendant chaque expérience (non compris l'allumage).	Quantité totale d'eau vaporisée pendant chaque expérience.	Charbon brûlé par force de cheval et par heure (non compris l'allumage).	Eau vaporisée par kil. de charbon brûlé (non compris l'allumage).
	heures.	ch.	kil.	kil.	kil.	kil.
1re journée. Essais au frein......	10	5.40	271	1563	5.02	5.77
2e — — —.......	10	4.11	200	1270	4.86	6.35
3e — — de pompage....	10	(A)	180	1125	(B)	6.25

La force développée pendant la troisième expérience a été déduite des précédentes au moyen de la formule du travail, et a été ainsi trouvée de $3^{ch},00 = (A)$; d'où $(B) = 6$ k.

Ainsi :

En marchant à sa force nominale, cette machine consommait par cheval et par heure $4^{k},86$.

En marchant à une force supérieure, elle consommait un peu plus, $5^{k},02$.

Et en marchant à une force inférieure, elle consommait beaucoup plus, $6^{k},00$.

2° *TABLEAU n° 7. Machine numéro 16 du tableau n° 2. 15 à 18 chevaux de force nominale et 28 mètres de surface de chauffe; à détente Woolf et à condensation.*

OBSERVATIONS. Les journées d'expériences se sont suivies, l'une un jour et l'autre le lendemain.	DURÉE de chaque expérience.	Charbon brûlé dans chaque expérience (non compris l'allumage).	Force développée par la machine dans chaque expérience, mesurée au frein de Prony.	CHARBON brûlé par cheval et par heure.
	h. m.	kil.	ch.	kil.
1re journée d'essais au frein...........	6.51	277	22.70	1.75*
2e journée — au frein...........	5.12	145	16.20	1.71*

* Les chiffres réellement trouvés dans l'expérience étaient : 1 kil.,68 pour le premier et 1 kil.,42 pour le second; ils ont été corrigés pour tenir compte de l'état comparatif du foyer au commencement et à la fin de l'expérience. L'appréciation d'ailleurs a été faite contradictoirement.

Il résulte de ce tableau qu'à la force de $16^{ch},20$, qui est près de sa force nominale, cette machine consommait moins qu'à une force notablement supérieure, même après la correction peut-être un peu trop forte que l'on a cru devoir faire subir aux résultats bruts de l'expérience, conformément à l'observation placée à la fin du tableau.

Il ressort donc de ces expériences que le minimum de consommation de charbon est obtenu quand on fait travailler ces machines à leur force dite nominale [1].

Mais il nous reste à déterminer la force de la machine, qu'on doit entendre par l'expression de force nominale dans l'acception des bons constructeurs.

On voit par les expériences du tableau n° 6 que cette force de moindre consommation correspond à une surface de chauffe par cheval de $\frac{6^{m^2},40}{4^{ch},11} = 1^{m^2},55$; et par les expériences du tableau n° 7 qu'elle correspondait dans ces expériences à une surface de chauffe par cheval de $\frac{28^{m^2}}{16^{ch},20} = 1^{m^2}.73$.

Mais dans le tableau n° 6, on voit en outre que les quantités de vapeur produites par la chaudière ont été les suivantes :

1. Les quantités indiquées aux tableaux nos 6 et 7, de charbon brûlé par cheval et par heure, et d'eau vaporisée par kilog. de charbon; ne doivent pas être considérées, pour leur valeur absolue; car dans ces cinq expériences, on avait employé des charbons réputés de la meilleure qualité, et choisis comme tels; on avait fait conduire le feu avec des soins inusités et par des mécaniciens choisis également. — De plus, dans les essais du tableau n° 6, par suite d'une disposition erronée des carneaux, la vapeur était surchauffée, ou tout au moins séchée. — Mais néanmoins, les résultats observés conservent toute leur valeur relative *dans chaque tableau*, puisque dans chacun de ces tableaux les observations ont été faites dans des conditions identiques.

1° 5k.77 de vapeur par 1 kil. de charbon brûlé, pour une surface de chauffe par cheval, de $\frac{6^{m2}.40}{5^{ch}.40}$ = ... $1^{m2}.18$

2° 6k.35 de vapeur par kil. de charbon brûlé pour une surface de chauffe par cheval, de $\frac{6^{m2}.40}{4^{ch}.11}$ = ... 1 .55

3° Enfin 6k.25 de vapeur par kilog. de charbon brûlé pour une surface de chauffe par cheval, de $\frac{6^{m2},40}{3^{ch}}$ = ... 2 .13

Ces deux derniers résultats devant être considérés comme identiques, eu égard aux limites de précision que comportent les observations de cette nature.

Donc la chaudière vaporise plus avec une surface de chauffe par cheval de 1^{m2},55 qu'avec une surface de chauffe de 1^{m2},18; mais à partir de 1^{m2},55, la vaporisation n'augmente plus.

C'est-à-dire que, quand on marche à une force supérieure à celle qui correspond à la surface de chauffe d'environ 1^{m2},55 par cheval, la chaudière vaporise d'autant plus que la force est moindre, et que quand on marche à une force inférieure à celle qui correspond à 1^{m2},55, la chaudière ne produit ni plus ni moins, quelle que soit la force.

Les observations précédentes ne prouvant d'ailleurs pas d'une manière évidente que le maximum de vaporisation de la chaudière par 1 kilog. de charbon ne puisse être obtenu avec une surface de chauffe, par cheval, intermédiaire entre 1^{m2},18 et 1^{m2},55.

Enfin nous verrons plus loin, pages 17 et 18, que le rendement de la vapeur dans les expériences du tableau n° 6, augmentait dans le rapport de 0,263 à 0,287 quand la force développée par la machine s'élevait elle même de 4^{ch},11 à 5^{ch},40, c'est-à-dire que la machine, travaillant à une plus grande force, rend une plus grande portion de la force correspondant théoriquement à la quantité de vapeur dépensée.

Donc, en résumant ce qui précède, nous dirons :

1° Quand la machine marche à une force correspondant à plus de 1^{m2},55 de surface de chauffe par cheval, c'est-à-dire à une force inférieure à la force nominale, le rendement de la machine augmente avec la force, et celui de la chaudière ne changeant pas, le rendement du système doit augmenter avec cette même force.

2° Quand on marche à une force correspondant à moins de 1^{m2}.55 de surface de chauffe par cheval, c'est-à-dire à une force supérieure à la force nominale, le résultat final est dû à deux influences contraires qui sont : celle de la chaudière, dont la vaporisation va en augmentant à mesure que la force diminue, et celle de la machine dans laquelle le rendement de la vapeur va en diminuant pendant le même temps.

Il résulte de là que le minimum de consommation obtenu dans les essais (tableau n° 7) eût été moindre encore, si on eût marché à une force

un peu supérieure à celle qui correspondait à $1^{m^2},73$ de surface de chauffe par cheval, puisque la chaudière eût alors donné le même rendement jusqu'à $1^{m^2},55$ par cheval, et que la machine eût rendu davantage, la force augmentant.

Mais est-ce à $1^{m^2},55$ même, ou environ, que correspond le minimum de consommation du système? C'est ce que nous ne pouvons conclure directement de nos expériences, faute d'observations sur des surfaces de chauffe intermédiaires entre $1^{m^2},18$ (tableau n° 6) ou $1^{m^2},23$ (tableau n° 7) d'une part et $1^{m^2},55$ d'autre part.

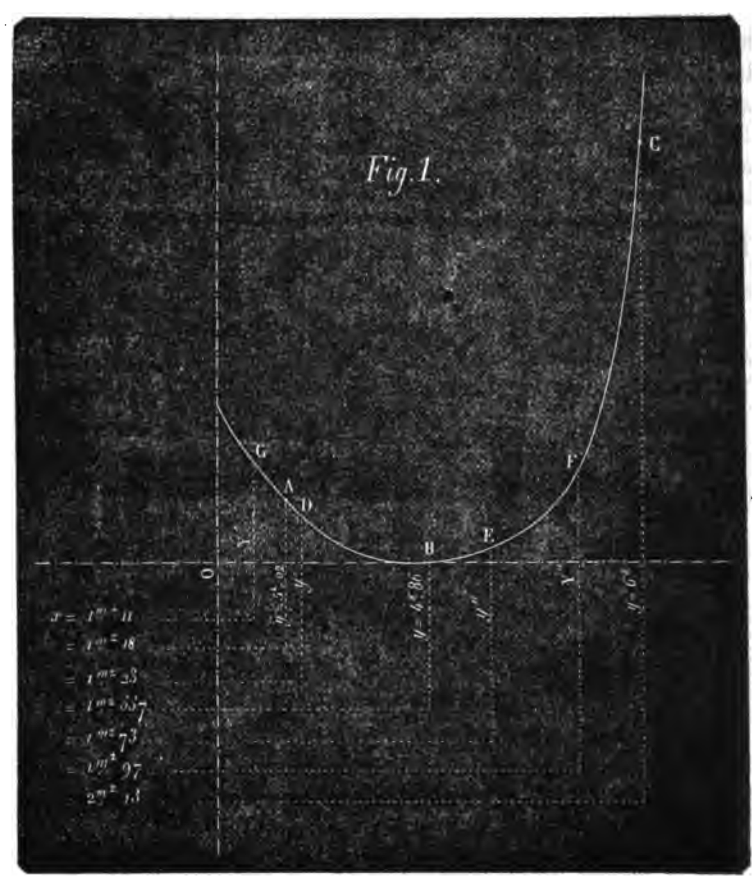
Cependant nous pensons qu'on peut être fondé à croire que le minimum de dépense correspond à une surface de chauffe par cheval peu différente de $1^{m^2},55$.

En effet :

Si l'on cherche à représenter graphiquement les résultats déjà trouvés, et qu'à cet effet on essaye de construire la courbe dont les ordonnées représenteraient les consommations de charbon de la machine par cheval et par heure, et les abscisses les surfaces de chauffe par cheval, correspondantes :

Échelles : Ordonnées : $0^{m},005$ pour $0^{k},10$.
— Abscisses : $0^{m},005$ pour $0^{m^2},10$.

Origine des y à $4^{k},86$ au-dessous de *o*.
Origine des x à $1^{m^2},00$ en avant de *o*.



Nota. Y″ et Y′ sont relatifs à l'expérience page 201.

On obtiendra d'abord au moyen des expériences du tableau n° 6 les trois points A, B, C du lieu cherché ; puis on tirera des expériences du tableau n° 7 que *y″* consommation correspondant à $1^{m^2}.73$ est les 0.98 de *y′* consommation correspondant à $1^{m^2},23$;

De plus, on se rappellera qu'il vient d'être dit que *y″* doit être elle-même plus grande que l'*y* correspondant à $1^{m^2},55$;

Et cela posé, on reconnaîtra que le lieu géométrique ABDEC satisfait bien à ces diverses conditions à la fois, et en même temps à la condition hypothétique, mais essentielle, de régularité dans la loi ; on voit de plus

que ce lieu ABDEC rend bien compte de ces deux observations précédentes :

1° Que, en allant du point minimum vers sa gauche, la consommation (y) tend en même temps et à augmenter par suite de la diminution de rendement en vapeur de la chaudière, et à diminuer par suite d'un plus grand rendement en force de la vapeur dépensée;

2° Qu'en allant du point minimum vers sa droite, la consommation (y) tend seulement à augmenter, par suite de la diminution de rendement en force de la vapeur dépensée; le rendement en vapeur de la chaudière par 1 kilog. de charbon brûlé ne variant plus sensiblement.

Enfin, il ne nous paraît pas possible, à l'aspect de la figure, de concevoir une autre courbe notablement différente quant à la partie voisine du point minimum, et satisfaisant aussi bien à toutes les conditions ci-dessus énoncées.

Nous admettrons donc comme établi que la figure ABDEC est bien le lieu géométrique des conditions déduites des expériences précédentes.

On voit alors par cette figure que le point minimum de la courbe, c'est-à-dire celui pour lequel la tangente est horizontale, correspond à une surface de chauffe par cheval très-voisine de $1^{m^2},50$.

Ce chiffre rond de $1^{m^2},50$ de surface de chauffe par cheval, est donc celui qui correspond à la force pour laquelle la consommation de la machine est la moindre, c'est-à-dire celui qui doit servir à fixer la force que nous avons dite *force nominale* d'une machine, d'après l'appellation même de bons constructeurs.

Nous citerons, pour terminer cette partie de notre travail, les résultats d'expériences suivants, qui nous ont été communiqués, et qui confirment ce qui précède.

On opérait sur une machine locomobile de 6 chevaux de force nominale, et $8^{m^2},60$ de surface de chauffe totale, précisément du type n° 31 et 32 du tableau n° 2.

En trois expériences, dont la durée laisse un peu à désirer, il est vrai, on a obtenu les résultats que nous avons résumés dans le tableau n° 8 suivant :

TABLEAU N° 8.

Nos D'ORDRE des expériences.	DURÉE de chaque expérience.	PRESSION de la vapeur dans la chaudière.	FORCE, mesurée au frein de Prony.	Charbon brûlé par cheval et par heure.	OBSERVATIONS.
	minutes.	atmosphères.	chevaux.	kil.	
1	87	5	4,35	3,17	Ces expériences sont faites en prenant la machine en marche régulière, et la laissant de même à la fin des observations.
2	75	5	5,65	2,83 *	
3	144	5 ½	7,80	3,78	

* Dans une expérience que nous avons faite nous-même, et que nous citons page 18; nous avons trouvé avec une machine du même modèle et du même constructeur, une consommation de charbon de 2 kil. 96 par cheval et par heure, en marchant à une force de 5 chevaux 80, et à une pression de 5 atmosphères, 5.

On voit par ce tableau que la machine consommait beaucoup plus à la force de $4^{ch}.35$ correspondant à une surface de chauffe par cheval de $1^{m2},97$, et à la force de $7^{ch}.80$ correspondant à une surface de chauffe par cheval de $1^{m2},11$, qu'à la force de $5^{ch},65$, qui est presque sa force nominale, et qui, en tous cas, correspond à une surface de chauffe par cheval de $1^{m2},52$.

C'est tout ce que nous voulions demander à ces expériences, que nous croyons faites avec beaucoup de soin, mais auxquelles il manque d'avoir plus de durée, pour qu'on puisse chercher à tirer d'autres conséquences des résultats obtenus.

Nous venons de trouver que les machines locomobiles gagnaient 55 p. 100 en consommation sur les machines fixes (tableau n° 5).

Nous allons chercher à analyser cette différence, et, à cet effet, comparer séparément les éléments principaux de ces machines, c'est-à-dire les chaudières et les cylindres à vapeur, la production et l'emploi de la vapeur.

7. *Comparaison entre les chaudières des machines fixes et des locomobiles, au point de vue de la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de charbon brûlé.*

TABLEAU N° 9. — Extrait du tableau n° 2.

MACHINES FIXES.		LOCOMOBILES.	
NUMÉROS D'ORDRE des expériences du tableau n° 2.	QUANTITÉS d'eau vaporisées par 1 kil. de charbon.	NUMÉROS D'ORDRE des expériences du tableau n° 2.	QUANTITÉS d'eau vaporisées par 1 kil. de charbon.
Expériences N° 5.........	4k,80	Expériences N° 50.........	6k,40
— 6.........	5 ,20	— 52.........	6 ,67
— 8.........	4 ,40	— 53.........	6 ,87
— 13.........	4 ,35	— 56.........	6 ,40
— 14.........	4 ,80	— 58.........	6 ,75
— 15.........	5 ,10	— 61.........	6 ,84
— 17.........	5 ,20	— 67.........	6 ,72
— 20.........	5 ,10	— 70.........	6 ,68
— 21.........	4 ,30	— 73.........	7 ,00
— 22.........	4 ,55		
— 33.........	4 ,90		
— 34.........	5 ,00		
— 35.........	4 ,95		
Moyenne des 13 Expériences...	4k,80	Moyenne des 9 Expériences....	6k,70

Le résultat définitif du tableau précédent, n° 9, donne une différence de 39 p. 100 en faveur des chaudières locomobiles, c'est-à-dire tubulaires.

En confirmation de ce résultat, nous citerons les expériences suivantes, faites avec le plus grand soin sur des machines d'ateliers, par M. F. Mathias, ingénieur de la traction à Fives.

TABLEAU N° 10.

NUMÉROS d'ordre des expériences.	FORCE de la machine à laquelle appartient la chaudière.	DÉSIGNATION des CHAUDIÈRES EXPÉRIMENTÉES.		QUANTITÉS D'EAU VAPORISÉES par kilogamme de charbon.	
		SYSTÈME.	Surface de chauffe totale.	par expérience.	Moyenne par système de chaudière.
1	20 ch	Chaudière à bouilleurs....	22 m2	5k,60	5k,56
2	23	Id..................	22	5,57	
3	16	Id..................	22	5,50	
4	18	Chaudière tubulaire......	67	9,00	8,35
5	16	Id..................	78	7,27[1]	
6	»	Id..................	»	8,77	

1. Le combustible employé était de la houille pour les expériences 1, 2, 4, 5, et du poussier pour les expériences 3 et 6.

Soit une différence de 48 p. 100 en faveur de la chaudière tubulaire; nous ferons seulement observer que, d'après ce qui précède, les chaudières à bouilleurs devaient avoir, dans ces expériences, des surfaces de chauffe insuffisantes, surtout le n° 1, et que si pour en tenir compte on ajoute 10 p. 100 à la moyenne de leur quantité d'eau vaporisée, conformément aux résultats du tableau n° 6, la différence en faveur des chaudières tubulaires ne sera plus que de 39.8 p. 100, ce qui est presque identiquement ce que nous avons déduit de nos propres expériences (tableau n° 9).

8. *Comparaison des modes d'utilisation de la vapeur dans les machines fixes et dans les locomobiles.*

Dans les expériences du tableau n° 2, la vapeur était introduite :

Dans les machines fixes, à une pression moyenne de 4 atm., et pendant 1/3 à 1/5 de la course, soit moyennement 1/4; et, dans les machines locomobiles, à une pression moyenne de 3at.7 pendant à peu près les 4/5 de la course du piston.

Or, si l'on transporte successivement ces nombres dans l'équation du travail :

$$\mathrm{T}m = \mathrm{KV}h\left[1 + \log.\frac{z}{z_0} \times 2{,}3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0}\right]$$

on trouvera :

Pour la machine à détente au 1/4. . . . . . $T'm = KV \times 54{,}384$ (a)

— — 4/5. . . . . . $T''m = KV \times 32{,}487$ (b)

Par conséquent, si le coefficient K était le même pour les deux sortes de machines, un même volume V de vapeur produirait, dans la machine fixe, un travail qui serait les $\frac{54.384}{32.487}$ du travail produit dans la machine locomobile.

C'est-à-dire que, du chef de la détente, la machine locomobile perdrait 40 p. 100; mais nous avons dit qu'elle gagnait 39 p. 100 par sa chaudière, par conséquent les travaux produits par un même volume de vapeur seraient sensiblement les mêmes dans les deux cas.

Or, nous avons trouvé directement qu'en somme la machine locomobile gagnait 55 p. 100. Il faut donc que la différence, si elle est vraie, réside toute entière dans la valeur du coefficient K.

9. *Détermination de la valeur du coefficient* K, *pour les machines fixes et pour les machines locomobiles expérimentées.*

A priori il nous semble évident que dans des machines fixes, marchant lentement et avec détente plus ou moins prolongée, avec des cylindres à vapeur de grandes dimensions, non enveloppés, séparés des chaudières par des tuyaux plus ou moins longs, plus ou moins tourmentés et quelquefois de diamètre insuffisant, avec des tiroirs plus ou moins compliqués de distribution à détente variable; il nous semble évident, disons-nous, que, dans ces machines, les pertes de travail résultant des refroidissements, entraînements d'eau, fuites par les tiroirs et pistons, etc., doivent être bien plus considérables que dans les machines locomobiles à grande vitesse, où tout est simplifié, où le conduit de vapeur est pour ainsi dire nul, et le cylindre à vapeur constamment réchauffé par la chaleur de la chaudière avec laquelle il est en contact.

Nous nous proposons de rechercher dans ce qui suit l'influence de l'ensemble de ces causes sur chacune des deux espèces de machines comparées.

A cet effet, nous reprendrons les expériences au frein, sur la machine n° 1, comparativement avec d'autres expériences au frein que nous avons eu occasion de faire sur une machine locomobile de 6 chevaux.

1° *Expériences sur la machine n° 1, de 4 chevaux.*

Avant les essais, la machine avait été remise en parfait état; le fourneau de la chaudière avait été refait, et nous avons déjà dit que par suite d'erreur les carneaux s'élevaient au-dessus de la ligne d'eau.

Dans ces conditions, on a fait les observations suivantes :

Dimensions relevées :	Diamètre du cylindre à vapeur. . .	$0^{m}.250$
	Course id. . . .	0 .550
	Détente variable réglée au.	$1/5^{me}$
Expérience :	Durée.	10 heures.
	Pression moyenne de la vapeur dans la chaudière.	$5^{at}.70$
Nombre de tours de volant pendant l'expérience. . . .		18505
Quantité d'eau consommée par la chaudière. . . .		1270 kil.
Force développée sur l'arbre du volant, mesurée au frein de Prony. — Moyenne pendant l'expérience.		$4^{ch}.11$

De ces résultats d'observation on peut déduire facilement tous les éléments de l'équation du travail

$$\left[Tm = KVh \left(1 + \log. \frac{z}{z_0} \times 2,3026 - \frac{h'}{h} \frac{z}{z_0}\right) \right]$$

moins le coefficient K, que nous pourrons tirer par conséquent, de l'équation même. Tm, est donné par le frein, il est de $4^{ch}.11 \times 75^{km} = 309$ kilogrammètres; V, le volume de vapeur non détendue dépensée par seconde, nous le calculerons au moyen du poids d'eau réellement consommé pendant l'expérience, et transformé en litres de vapeur à $5^{at}.7$, en le multipliant par le volume de 1 kilog. d'eau à cette pression, soit 342 litres. On trouvera ainsi $V' = 12$ litres, et par suite l'équation du travail deviendra :

$$309^{km} = K \times 12^{l}.06 \times 58.88 \; (1 + 1.61 - 0.96),$$

d'où

$$K = 0,263.$$

Si nous avions calculé V d'après les dimensions du piston et la détente, nous eussions trouvé seulement $V = 5^{l}.57$.

La différence entre $5^{l}.57$ et $12^{l}.06$ représente la perte de travail par suite de condensation, d'eau entraînée par la vapeur, de fuite de vapeur, etc., qui ont donc absorbé 54 p. 100 du travail total, c'est-à-dire de celui qu'on eût obtenu si toute l'eau introduite dans la chaudière eût été vaporisée, et si toute la vapeur formée eût été utilisée à produire de la force.

Nous ferons seulement remarquer que la quantité d'eau entraînée devait être singulièrement réduite, par suite de la surélévation anormale des carneaux, d'où il résulte que la vapeur était surchauffée, ou tout au moins séchée.

2° *Autre expérience au frein sur la même machine n° 1.*

Résultats d'observation :

Durée de l'expérience.	10 heures.
Pression moyenne de la vapeur dans la chaudière.	$5^{at}.4$
Nombre de tours de volant pendant l'expérience.	24330

Quantité d'eau consommée par la chaudière. . . . . 1572 litres,
Détente variable réglée au. . . . . 1/5me
Force en chevaux, mesurée au frein de Prony. . . . . . . 5^{ch}.40

On déduit de là, comme précédemment :

$$V' = 15^l.90$$
$$K = 0,287.$$

En calculant V d'après les dimensions du cylindre, on eût trouvé :

$$V = 7^l.60, \text{ soit perdu } \frac{V'-V}{V'} = 52 \text{ p. } 100.$$

Ces nombres diffèrent très-peu de ceux qui résultent de l'expérience précédente.

En prenant des moyennes, nous aurons : K = 0,275; et le volume de vapeur perdue = 0,525.

Répartition du travail perdu.

Ce résultat peut s'interpréter ainsi :

Travail rendu = 0.275 du travail total théorique.
Travail perdu = 0.725 id.

Sur lesquels la comparaison de V et V′ nous a donné à attribuer aux pertes de vapeur 0,525.

Il reste donc pour les frottements et autres pertes 0.20.

Si toute l'eau chauffée eût produit son maximum théorique d'effet, le travail rendu eût été : $0.275 \times \frac{15^l.9 = V'}{7^l.60 = V}$ . . . . = 0.56

et le travail perdu. . . . . = 0.44

3° *Expériences sur une machine locomobile neuve de 6 chevaux de force nominale.*

Résultats d'observation :

Durée de l'expérience.	140 minutes.
Nombre moyen de tours de volant pendant l'expérience.	105 par min.
Pression moyenne de la vapeur dans la chaudière. . . .	5^{at}.40
Eau vaporisée, mesurée dans la bâche alimentaire. . . .	347 kilog.
Charbon brûlé pendant l'expérience, non compris l'allumage.	40 kilog.
Force développée, mesurée au frein de Prony.	5^{ch}.80
Détente invariable pendant.	$\frac{0^m.23}{0^m.30}$
Dimensions du piston. . . { Diamètre.	0,150
Dimensions du piston. . . { Course.	0,300

En transportant les nombres résultant de ces observations dans l'équation du travail, comme précédemment, on trouve :

$$V' = 15^{l}.00,$$
$$K' = 0,538.$$

En cherchant la valeur théorique de V d'après les dimensions du cylindre et la détente, on trouve : $V = 14^{l}.25$.

Par conséquent :

La perte totale de force est de :

$$0,462;$$

sur lesquels les pertes par condensation, etc., représentent :

$$\frac{V' - V}{V'} = 0,05.$$

Et nous ajouterons que, dans cette expérience, le robinet de vapeur n'était pas ouvert en plein, car à la pression de $5^{at}.40$ la machine aurait donné $7^{ch}.40$.

S'il n'y eût pas eu de perte sur V, la machine eût rendu :

$$0,538 \times \frac{15^{l}}{14^{l}.25} = 0,566,$$

et la perte eût été de 0,434. C'est à peu près exactement comme pour la machine fixe dans la dernière expérience à $5^{ch}.40$.

Conclusions.

En résumant ces résultats, nous dirons :

1° Les pertes de volume sont presque nulles [0,05] dans la machine locomobile neuve expérimentée;

2° Ces pertes, dans une machine fixe neuve, ou à peu près telle, atteignaient à 52,5 p. 100 du travail correspondant théoriquement à la quantité totale d'eau injectée dans la chaudière;

3° Les pertes de travail dues au frottement des organes, pertes de pression, etc., sont sensiblement les mêmes dans deux machines, l'une fixe et l'autre locomobile, travaillant à la même force; et la valeur de ces pertes est les 44 centièmes du travail de la vapeur utilisée;

4° Enfin, au point de vue spécial de la comparaison des consommations de charbon, dans les deux espèces de machines, les coefficients à introduire dans l'équation du travail sont :

$K = 0,275$ ou 28 p. 100 pour les machines fixes.
$K' = 0,538$ ou 0.54 p. 100 — locomobiles.

Or nous avons trouvé, page 16, qu'en ne considérant que la détente, le travail d'un même volume de vapeur était :

Pour machine à détente au 1/4 : [a] $T'm = KV \times 54,384$
— — 1/5 : [b] $T''m = KV \times 32,487$

En transportant dans ces expressions les valeurs de K, que nous venons de déterminer, elles deviennent :

$$T'm = V \times 15,23 \quad [a'] \text{ pour machine fixe.}$$
$$T''m = V \times 17,48 \quad [b'] \quad — \quad \text{locomobile.}$$

10. *Travail produit par la combustion de 1 kilog. de charbon dans les deux espèces de machines comparées.*

Enfin, nous avons trouvé que 1 kilog. de charbon vaporise 4k.80 dans les machines fixes et 6k.70 dans les machines locomobiles.

Le travail de 1 kil. de charbon sera donc, en transportant ces nombres dans les expressions [a'] et [b'] :

$$T'm = \text{constante} \times 73,1 \text{ pour la machine fixe.}$$
$$T''m = \text{constante} \times 117,1 \quad — \quad \text{locomobile.}$$

C'est-à-dire que la locomobile devrait gagner sur la machine fixe :

$$\frac{T''m - T'm}{T'm} = 60 \text{ p. } 100.$$

C'est à très-peu près ce que nous avons trouvé directement par la comparaison des résultats fournis par les expériences de consommation (tableau nº 5); les deux résultats se confirment donc mutuellement.

Pour compléter cette confirmation, nous citerons les nouvelles observations suivantes :

Le coefficient K, qui vient de nous servir pour les machines locomobiles, ne résultait que d'une seule expérience au frein; mais, ainsi que nous l'avons déjà dit, nous avons fait des essais de cette nature sur toutes nos machines locomobiles neuves, et les résultats de ces essais ont été constamment les suivants :

TABLEAU nº 11.

FORCE NOMINALE de la machine.	FORCE MESURÉE au frein de Prony.	PRESSION DE LA VAPEUR dans la chaudière.	VALEUR DU COEFFICIENT K déduite de l'expérience.
chevaux.	chevaux.	atmosphères.	
6	8.40	6	K = 0.62
3	4.50	Id.	K = 0.576
2	3.30	Id.	K = 0.482
2 à 6		Id.	Moyenne : K = 0.559

Cette valeur moyenne de K est plus élevée encore que celle que nous avons déduite de l'expérience comparative, et dans laquelle on ne voulait pas que la machine donnât toute la force correspondant à la pression de

la vapeur. La différence entre ces deux valeurs de K peut représenter des pertes dues à la fermeture partielle du robinet dans l'expérience page 18.

11. *Valeurs du coefficient* K *pour des machines anciennes.*

Il était intéressant de se rendre compte de ce que deviendraient, pour des machines anciennes non-seulement comme date d'installation, mais encore et surtout comme date de réparation, les rapports K que nous avons déduits d'observations sur des machines neuves. Car, en somme, les machines en service du tableau n° 2 rentrent toutes plus ou moins dans ce premier cas.

Voici, à cet égard, le résultat des expériences que nous avons faites sur nos deux plus anciennes machines, fixe et locomobile :

1° Machine locomobile ancienne.

Observation. — Durée de l'expérience. . . . . 2 heures 40′
Nombre de tours de volant de la machine. 13571
Poids d'eau vaporisée. 280 kilog.
Pression de la vapeur dans la chaudière. . . . . $3^{at}.3$
Résultats. — Volume de vapeur dépensée, total. . . . . 16416 litres.
Soit par tour de volant. . . . . $11^{l}.75$

En le calculant d'après la détente au 4/5 et les dimensions du cylindre, on trouve pour le volume de vapeur qu'on aurait dû dépenser par tour, $8^{l}.50$.

L'excédant de $11^{l}.75$ sur $8^{l}.50$ représente des pertes de toute nature, et notamment par les tiroirs, qui en effet laissaient passer de la vapeur pendant toute la durée de la course du piston.

Par conséquent, dans l'équation de comparaison [*b*] (page 19), où l'on s'est servi d'un $V' = 1,05$ de fois le volume théorique, il faudrait, pour obtenir le même travail avec la machine ancienne, prendre un $V' = 1,38$ de fois le volume théorique, et par suite la valeur du coefficient K de rendement se trouverait diminuée dans le rapport $\frac{1,05}{1,38}$; or la valeur de ce coefficient avait été trouvée égale à 54 p. 100 pour la machine neuve; elle ne sera donc plus que de $0,54 \times \frac{1,05}{1,38}$, soit 0,41 pour la machine ancienne.

Il y a seulement à faire, à ce dernier chiffre, une correction résultant de ce que l'excédant de vapeur dépensée en plus des 4/5 de la course du piston a dû augmenter la force développée, bien que la vapeur ait passé entre des surfaces presque en contact.

Pour évaluer approximativement cet excédant de force, nous supposerons que pendant l'introduction supplémentaire, la vapeur a agi comme dans une admission normale.

Or, une machine à détente aux 4/5, avec un volume V de vapeur dépensée par seconde, produit un travail $=$ KV 32,5 (équation *b*). Mais, avec introduction de toute la course, le volume de vapeur V deviendrait : $V \times 1{,}25$, et le travail serait d'après la formule générale : $KV (1{,}25) \times 27$; la pression et le diamètre du cylindre restant les mêmes.

Dans cette seconde hypothèse, le travail $KV\,1{,}25 \times 27$ ou KV 33,7 serait donc supérieur au précédent de KV 1,2, c'est-à-dire de $\frac{KV\,1{,}2}{KV\,32{,}5}$, soit de $\frac{1{,}2}{32{,}5}$, ou 0,03; donc le K cherché sera, au plus, de $0{,}41 + 0{,}03 = 44$ p. 100.

2° *Machine fixe ancienne.*

Observation. — Durée de l'expérience.	6 heures 2'
Nombre de tours de volant, total.	6190
Poids d'eau vaporisée, total : 1°.	200 kilog.
— Avec pression de.	3at.60
— 2°.	432 kilog.
— Avec pression de.	4at.25

La détente était réglée au 1/4 de la course, mais en l'observant par les purgeurs, on l'a trouvé être moyennement au $\frac{1}{2{,}6}$ ou 0,38.

12. *Résultats calculés.*

Volume de vapeur total dépensé.	294400 litres.
Soit par tour de volant.	47 litres.

L'introduction normale au 1/4, d'après le règlement du tiroir, correspondrait à un volume engendré V égal à 13l.40 par tour. Or, en réalité, on a dépensé 47 litres de vapeur, on a donc dépensé 3,5 fois le V théorique.

La valeur de K a été trouvée égale à 27,5 p. 100, en la déduisant d'expériences dans lesquelles on avait reconnu V′ réel, égal à 2,1 fois le volume théorique V (page 16).

Par conséquent, dans l'expérience actuelle, K deviendrait égal à 27,5 p. 100, réduit dans le rapport de $\frac{2{,}1\,V}{3{,}5\,V}$, soit 16 p. 100.

Mais, dans cette expérience, l'introduction de vapeur constatée par les purgeurs a été trouvée de 0,38 et non du 1/4 de la course, et il y a lieu de tenir compte du supplément de force qu'a pu produire ce développement anormal de l'introduction.

La mesure exacte du supplément de travail qui en résultait n'eût pu être trouvée qu'à l'aide d'un dynamomètre, et nous n'en avions pas à notre disposition; mais nous allons, comme dans l'expérience précédente, supposer que cette introduction défectueuse s'est faite dans les mêmes condi-

tions que celle de la période normale d'admission, et nous aurons ainsi un maximum de l'effet utile qu'elle a pu produire, ce qui nous suffira pour les conclusions que nous en voulons tirer.

L'équation du travail, page 16, a donné : pour machine détendant au 1/4 $Tm = KV \times 54,4$; pour la même machine, introduisant pendant 0,38 de la course, le volume V augmenterait, et l'équation du travail deviendrait $Tm = KV \left(\frac{0,38}{0,25}\right) 48,4 = KV \times 74,5$, c'est-à-dire que dans ce cas le travail serait 1,36 fois le précédent, et que par suite K devrait être augmenté dans la même proportion, ce qui le porterait à $1,36 \times 16$ p. 100 = 21,76 p. 100, soit 22 p. 100.

Ainsi, en résumant ce qui précède, nous formerons le tableau suivant :

OBSERVATIONS. * Ces deux machines sont établies depuis plusieurs années.	MACHINE FIXE.		MACHINE LOCOMOBILE.	
	La plus ancienne *.	Neuve.	La plus ancienne *.	Neuve.
Valeurs du coefficient K......	22 pour 100 au maximum.	27,5 pour 100.	44 pour 100 ou à peu près.	54 pour 100.

lequel tableau montre qu'au point de vue de l'avantage des machines locomobiles sur les machines fixes, les résultats de comparaison obtenus avec des machines neuves sont, *à fortiori*, applicables aux deux machines les plus anciennes.

Il nous paraît résulter de là une justification suffisante de l'application que nous avons faite de ces coefficients à l'ensemble des machines expérimentées.

13. *Comparaison entre les diverses machines expérimentées, au point de vue du prix de revient de l'eau pompée.*

C'est une conclusion de ce qui précède.

TABLEAU n° 12. *Extrait des tableaux* n°s 1 *et* 5.

HAUTEUR totale d'élévation.	TRAVAIL PRODUIT EN KILOGRAMMÈTRES			
	PAR UN KILOGRAMME DE CHARBON,		PAR UN HOMME EN 10 HEURES,	
	avec machine fixe.	avec machine locomobile.	avec pompe à volant.	avec pompe à balancier.
mètres.	K. M.	K. M.	K. M.	K. M.
10 à 13	14500	23920	142000	75000
	Tableau numéro 5.		Tableau numéro 1.	

C'est-à-dire que pour produire un travail de 100000 kilogrammètres, il faut :

Avec pompe à balancier.	1jour.3 d'un homme.
Avec pompe à volant.	0jour.7 —
Avec machine fixe.	6k.9 de charbon.
Avec machine locomobile.	4k.2 —

Avec ces éléments et les prix de la journée de manœuvre et du kilog. de charbon, combinés avec la valeur des appareils, on peut établir le prix de revient, dans chaque cas, du mètre cube d'eau élevé à une hauteur de 10 à 13 mètres.

Un calcul analogue serait à faire au moyen des tableaux nos 4 et 5 pour chaque série de hauteur d'élévation de l'eau.

14. Nous avons vu par les tableaux nos 3, 4 et 5 que la consommation de charbon était loin d'être proportionnelle au travail à produire; nous allons chercher à nous rendre compte expérimentalement de ce résultat d'observation.

14. *Rapport entre le travail utile en eau élevée, et le travail moteur pris sur l'arbre du volant, suivant la hauteur d'élévation.*

Nous avons calculé la force employée par les machines du tableau suivant, au moyen de l'équation du travail à détente, et des résultats des expériences au frein que nous avions faites sur chacune de ces machines.

Nous avons placé dans ce tableau une colonne intitulée rapport entre le débit réel et le débit théorique des pompes, pour servir d'élément d'appréciation du résultat.

La pression de vapeur est toujours donnée par le manomètre placé sur la chaudière, mais la pression inscrite au tableau suivant est observée lorsque le robinet de distribution est presque complétement ouvert.

Enfin, nous dirons que beaucoup d'expériences de ce tableau ne figurent pas au tableau n° 2, et qu'elles ont été faites spécialement en vue de la présente comparaison.

TABLEAU N° 13. — *Expériences.*

INDICATION des machines.			INDICATION DES POMPES. (Presque toutes aspirantes et élévatoires.)			RÉSULTATS DÉDUITS DE L'OBSERVATION.						
Numéros d'ordre.	Force nominale.	Système.	Diamètre des pistons.	Course des pistons.	SYSTÈME DE TRANSMISSION.	Hauteur d'élévation.	Rapport entre le débit réel et le débit théorique des pompes.	Pression de la vapeur.	Travail utile.	Travail moteur.	Travail absorbé par les frottements des pompes.	Rapport entre le travail utile et le travail moteur.
	ch.					m.	p. 100.	atm.	ch.	ch.	ch.	p. 100.
1	3	Loc.	0,16	0,35	Mue par courroie, et engrenages..	11	91	3,3	0,78	2,08	1,22	39
2	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	11	93	3,4	0,90	2,15	1,25	40
3	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	14	93	3,75	1,00	2,27	1,27	45
4	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	15	70	3,0	0,88	1,75	0,87	50
5	6	Loc.	0,25	0,25	Id. et balancier....	15	93	3,3	1,97	3,77	1,80	52
6	3	Loc.	0,16	0,35	Id. et engrenage...	17	85	3,5	1,02	2,20	1,18	47
7	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	18,5	87	3,8	1,25	2,48	1,23	50
8	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	20	93	4,5	1,70	3,08	1,32	55
9	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	20	97	4,0	1,30	2,66	1,36	49
10	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	21	91	4,0	1,20	2,66	1,46	55
11	6	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	24	100	3,5	2,10	4,10	2,00	51
12	3	Loc.	0 16	0,26	Id. id........	28	81	3,8	1,48	2,48	1,00	59
13	3	Loc.	0,16	0,26	Id. id........	26	81	3,4	1,25	2,10	0,85	59
14	3	Loc.	0,16	0,26	Id. id........	30	93	4,5	2,00	3,08	1,08	65
15	3	Loc.	0,16	0,26	Id. id........	42	100	5,2	2,65	3,78	1,13	70
16	3	Loc.	0,16	0,26	Id. id........	43	93	4,75	2,50	3,38	0,88	73
17	3	Loc.	0,16	0,26	Id. id........	44	93	4,5	2,20	3,08	0,88	71
18	3	Loc.	0,16	0,26	Id. id........	44	97	5,5	2,90	4,06	1,16	71
19	3	Loc.	0,16	0,26	Id. arbre coudé et leviers.	46	98	5,1	2,30	3,70	1,40	62
20	3	Loc.	0,16	0,26	Id. et engrenages..	30	90	4,0	1,80	2,66	0,86	68
21	2	Loc.	0,12	0,25	Id. et arbre coudé.	26	»	4,5	1,20	2,28	1,08	52
22	2	Loc.	0,16	0,26	Id. et balancier....	13	86	4,25	0,83	2,12	1,29	39
23	3	Loc.	0,16	0,25	Id. id........	7,50	»	3,25	0,68	2,00	1,32	34
24	3	Loc.	0,16	0,35	Id. et engrenages..	10	79	3,0	0,65	1,70	1,10	38
25	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	13	108	4,0	1,20	2,66	1,46	45
26	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	8,50	100	3,0	0,68	1,75	1,07	39
27	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	18	93	3,75	1,40	2,48	1,08	56
28	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	15	82	3,25	1,03	2,00	0,97	51
29	3	Loc.	0,16	0,35	Id. id........	17	93	3,5	1,30	2,40	0,90	58
30	3	Loc.	0,16	0,26	Id. id........	13,5	78	3,4	0,95	2,15	1,20	44
31	3	Loc.	0,16	0,26	Id. id........	41	92	5,0	2,50	3,60	1,10	72
32	4	Fixe.	0,22	0,55	Pompe à un plongeur en fonte, action directe, aspirante et foulante. — Simple effet.......	21,60	98	5,75	2,00	3,00	1,00	65
33	15 à 18	Fixe.	0,16	1,00	Pompe à 2 plongeurs en bronze, à action directe, aspirante et foulante. — Double effet.....	84	93	4,0	13,7	15,0	1,60	92
34		Fixe.	0,16	1,00		80	84	3,9	11,7	13,9	2,20	84

NOTA. Nous avons souligné les rendements de débits exceptionnels, soit en dessus, soit en dessous. — Les uns tiennent à des pistons trop neufs, les autres à des pistons trop usés.

En résumant le tableau précédent, on forme le tableau suivant :

TABLEAU N° 14.

HAUTEUR totale d'élévation. (1)	RAPPORT entre le travail utile et le travail moteur. (2)	TRAVAIL PERDU EN FROTTEMENTS DES POMPES. Avec transmission de mouvement par courroie. (pompes à 25, ou 30 coups par minute.) POMPE A BALANCIER.		POMPE A VOLANT.		POMPE A ENGRENAGE.		AVEC TRANSMISSION directe. 18 à 20 coups par min.	
		de 0,16 de diamètre et 0,25 de course.	de 0,25 de diamètre et 0,25 de course.	de 0,12 de diamètre et 0,25 de course.	de 0,16 de diamètre et 0,25 de course.	de 0,16 de diamètre et 0,36 de course.	de 0,16 de diamètre et 0,36 de course.	Pompe à 1 plongeur de 0,22 de diamètre et 0,55 de course.	Pompe à 2 plongeurs de 0,16 de diamètre et 1,00 de course.
m.	p. 100.	ch.	ch.	ch.	ch.	ch.	ch.	ch.	ch.
7,50	34	1,32							
8 à 10	38						1,08		
11 à 13	42	1,29				1,10	1,28		
15 à 20	50		1,80				1,02		
20 à 25	55						1,53	1,00	
25 à 30	60.			1,08		0,95			
40 à 45	70				1,40	1,03			
80	84								1,60
84	92								2,20
Moyenne des pertes.........		1,30	1,80	1,08	1,40	1,02	1,23	1,00	1,90

NOTA. Voir page 27, la courbe fournie par les colonnes (1) et (2).

On voit par ce tableau : 1° que le frottement des pompes absorbe un travail assez considérable, mais qui paraît être indépendant de la charge dans la limite des expériences toutefois.

Cela explique l'accroissement de rendement des pompes à mesure que la hauteur d'élévation augmente.

2° Que le frottement des pompes augmente à peu près proportionnellement avec les courses et les diamètres des pistons.

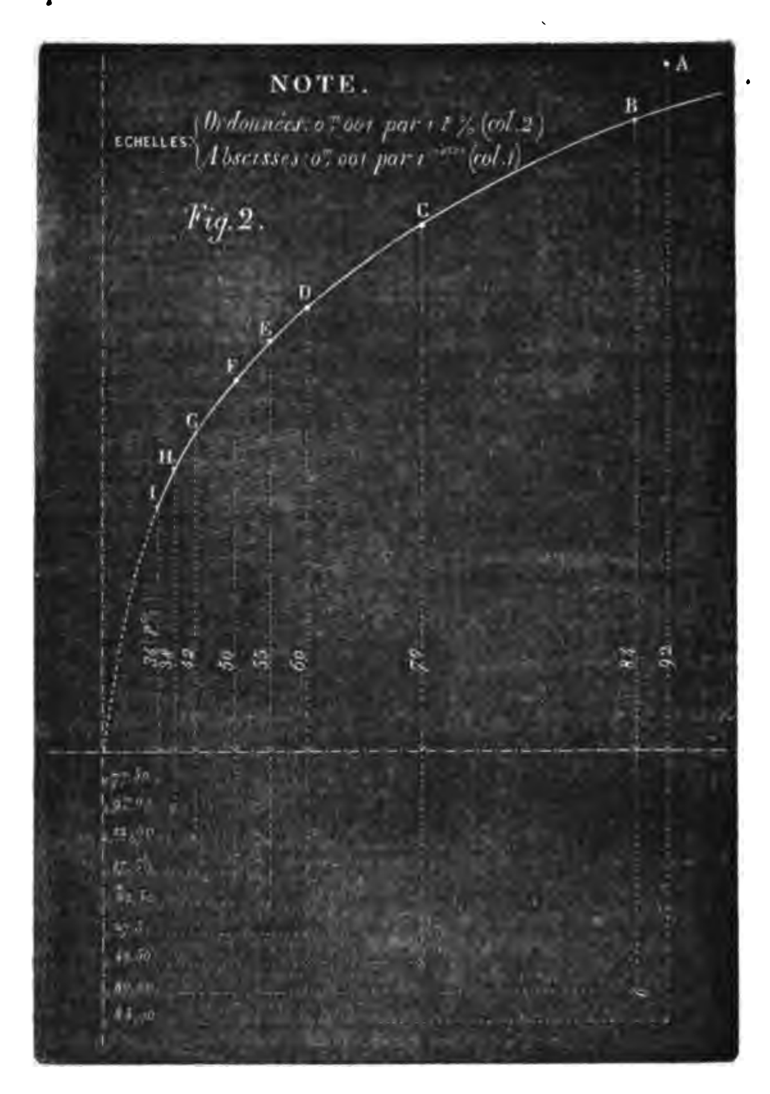
3° Qu'il est plus grand pour les transmissions de mouvement par courroie et balancier, ou courroie et arbre courbé, que dans celles par courroie et engrenage, et que c'est pour la transmission avec balancier qu'il est le plus grand.

Et qu'enfin il est le moindre dans les pompes à plongeur recevant directement le mouvement de la machine, et principalement dans les pompes à double effet, au moyen de deux plongeurs en bronze conjugués.

Représentation graphique des colonnes (1) et (2) du tableau n° 14.

En prenant pour ordonnées les coefficients de rendement (col. 2), et pour abscisses les hauteurs moyennes correspondantes (col. 1), on obtient les points A, B, C, D, E, F, G, H, I.

Ces points correspondent à une courbe parfaitement régulière, en en exceptant seulement le point A (92 p. 100), qui paraît devoir être corrigé en 86 p. 100.



15. *Comparaison entre les divers systèmes de pompes expérimentées, au point de vue du rendement par coup de piston, et du travail absorbé en frottements.*

Dans l'analyse que nous avons faite des résultats fournis directement par les expériences de consommation sur les machines fixes et sur les machines locomobiles, nous avons fait abstraction du système des pompes,

bien que ce soit évidemment un des éléments naturels de la comparaison.

Mais d'abord, cet élément de comparaison était assez difficile à introduire, à cause de la multiplicité des systèmes de pompes employés surtout dans les machines fixes; et, en outre, ainsi que nous allons le voir, il était sans importance et réellement négligeable.

A ce propos, et comme complément de cette note, nous résumerons brièvement les principales observations que nous avons faites sur les pompes.

TABLEAU N° 15.

Coefficient de débit, ou rapport entre le volume d'eau réellement arrivé aux réservoirs et le volume engendré par le piston, par tour de volant.

DÉSIGNATION du SYSTÈME DES POMPES.	NUMÉROS D'ORDRE DES EXPÉRIENCES ayant servi à former les moyennes.	COEFFICIENT du RENDEMENT.
		p. 100.
Pompes à deux corps et deux pistons élévatoires....	Exp. { 1 à 46 / 50 à 74 } tableau n° 2.	93
Id.	Moyenne du tableau n° 1...	92
Pompes à 1 ou 2 plongeurs foulants..............	Tableau n° 2............	92
Pompes à plongeurs et pistons à clapet à la fois.....	— 2............	94
Pompes à 2 corps et 2 pistons pleins foulants......	— 1............	77
Pompes à 2 corps et 2 plongeurs élévatoires.......	— 2............	74
Pompes à 1 corps et 1 piston plein, double effet....	— 2............	77

Nous avons élagué de ces moyennes les expériences n° 54, 68, 69, 70, 71 et 72 pour mauvais état de garnitures, constaté.

16. Quelques expériences ont semblé montrer que les résultats précédents pourraient tenir en grande partie à ce que les vitesses auxquelles marchaient ces pompes, et qui sont indiquées dans les tableaux n° 1 et n° 2, ne seraient pas pour chacune d'elles, celle qui convient le mieux à son système pour en obtenir le maximum de débit.

Nous allons donner le résumé des observations que nous avons recueillies à ce sujet :

1° Sur la pompe, à un seul piston plein double effet :

A la vitesse de :

21 à 22	coups par minute,	le débit était	0,91	du débit théorique.
24 à 29	—	—	0,87	—
47	—	—	0,80	—
67	—	—	0,60	—

2° Sur la pompe à plongeur foulant :

A la vitesse de :

14 à 18 coups par minute,	le débit était	95 p. 100	du débit théorique.
20 à 28	—	—	92	—
35	—	—	89	—
45	—	—	75	—

Par conséquent, les pompes foulantes perdraient de leur débit à mesure que leur vitesse augmente.

De plus nous voyons qu'à vitesse égale le débit du plongeur serait plus grand que celui du piston plein foulant.

3° Sur les pistons élévatoires :

A la vitesse de :

27 à 28 c. par min., débit	93 p. 100	du débit théorique	(tableau n° 2).
27 à 40 —	92	—	—	(tableau n° 1).
50 à 60 —	95	—	—	—
57 —	98	—	—	—

Par conséquent, dans la pompe élévatoire, où le mouvement de l'eau ne change pas de sens, le débit par coup de piston gagnerait, au contraire, avec l'accroissement de vitesse; il a même été trouvé quelquefois supérieur au débit théorique, mais c'était avec des garnitures neuves, qui donnent alors de grands frottements et s'usent rapidement.

17. *Comparaison des pompes au point de vue de leur entretien et de leur service.*

Les expériences du tableau n° 1 avaient été faites sans préparation et avec les pompes dans l'état où on les trouvait. Nous ignorons depuis quel temps leurs garnitures avaient été refaites.

Mais, sous ces réserves, on voit par ce tableau, que les pistons pleins donnaient 77 p. 100 (au lieu de 91 p. 100 qu'ils eussent dû donner à la vitesse de 18 à 20 coups par minute), tandis que les pistons élévatoires donnaient en moyenne à peu près 92 p. 100.

Le piston plongeur se conserve bien plus longtemps que les autres en bon état de rendement; la réparation de ses garnitures est facile et se fait avec des matières qu'on a toujours sous la main, tandis que les autres pistons exigent un approvisionnement de garnitures en cuir plus ou moins travaillées, et qui peut manquer au moment où on en a besoin.

Mais on connaît ses inconvénients; ils résultent de son poids, de son prix et de son mode d'action par compression.

18. *Comparaison des pompes au point de vue de la force qu'elles absorbent en frottements.*

On déduit des expériences sur le travail absorbé par les pompes, tableau n° 13 :

(N° 1). 1° Que la pompe élévatoire à double effet, recevant le mouvement par courroie et engrenage, absorbe en frottements un travail de 1ch.12 sur une force motrice moyenne de 3ch, soit 37 p. 100;

(N° 2.) 2° Que la même pompe, recevant le mouvement par courroie et balancier, absorbe un travail de 1ch.60 sur 3ch, soit 55 p. 100;

(N° 3.) 3° Que la même pompe, recevant le mouvement par courroie et arbre courbé, absorbe un travail de 1ch.24 sur 3ch, soit 42 p. 100;

(N° 4.) 4° Que la pompe foulante à un seul piston plongeur en fonte, recevant directement le mouvement de la machine, absorbe 1ch.00 sur 3ch.00, soit 33 p. 100;

(N° 5.) 5° Enfin que la pompe foulante à deux pistons plongeurs en bronze conjugués, recevant directement le mouvement de la machine, absorbe 1ch.90 sur 13ch.90, soit 14 p. 100.

Conclusions au point de vue de la comparaison des consommations de charbon des machines expérimentées.

Mais au point de vue de l'analyse comparative que nous avons faite des résultats de consommation fournis par les expériences sur les machines fixes et sur les machines locomobiles, comme le type n° 5 est exclu de la comparaison, que les types n° 1 et n° 2 n'y figurent que très-rarement, et qu'en général la comparaison ne porte que sur les types n° 1 et n° 4, dont le rendement est sensiblement le même, eu égard surtout aux autres circonstances qui peuvent influer sur le résultat final, on voit que l'influence du système de pompes employé a pu être négligée, ainsi que nous le disions en commençant ce chapitre.

Nous terminerons ici cette note, mais non toutefois sans ajouter, ce qui est presque une superfluité, que plusieurs des conclusions que nous avons tirées de nos expériences sont essentiellement propres aux machines expérimentées, et que pour permettre de les généraliser il faudrait évidemment d'autres observations confirmatives et faites sur des machines de forces, de formes et de dimensions différentes.

MÉMOIRE

SUR LES

PROCÉDÉS ET APPAREILS

DE FONDATIONS TUBULAIRES

DE MM. FORTIN, HERRMANN FRÈRES.

Application à ces travaux de la presse hydraulique, et de l'eau comme lest, pour obtenir l'enfoncement des piliers dans le sol par l'air comprimé, le vide ou le draguage.

Avant d'entrer dans la description de l'étude à laquelle nous nous sommes livrés, pendant les années de 1850 à 1855, nous rappelons une note lue à la Société par M. Ch. Nepveu, en mars 1855, la seconde partie devait décrire les nouveaux appareils de fondations.

L'absence de la description de ces nouveaux appareils dans la note de M. Nepveu résulte de ce que cette partie de l'étude nous est personnelle.

Mais en présence de l'application qui vient d'en être faite avec succès par les Ingénieurs des chemins d'Orléans et du Midi aux fondations du pont métallique de Bordeaux, et en présence de deux notes qui ont paru dernièrement dans les journaux, nous avons cru devoir en présenter aujourd'hui le résumé, et cela avec d'autant plus de raison, que cette étude a déjà donné lieu à un rapport de M. de la Gournerie, membre du jury international de l'Exposition universelle de 1855.

Nous communiquons cette notice en annonçant qu'elle date de la fin de 1854, et qu'elle ne contient aucune des améliorations que les derniers travaux de fondations hydrauliques par le système pneumatique permettent d'y introduire.

Elle n'aura donc pour but que d'indiquer la disposition des appareils qui nous ont conduits à l'application de la presse hydraulique, puisque avant cette dernière partie de notre étude nous avions déjà employé l'eau comme lest et contre-poids.

DESCRIPTION

DU SYSTÈME DE FONDATIONS DE PONTS PAR LA COMPRESSION DE L'AIR AU MOYEN D'UN APPAREIL A TROIS PUITS.

Le but de l'appareil qui va être décrit est de fonder sous la surface de l'eau, jusqu'à une profondeur de 21 mètres, des piliers de maçonnerie de 3 mètres de diamètre, dont la base repose sur un sol résistant.

L'examen des surfaces adoptées dans les fondations de piles exécutées par bâtardeaux, enceintes et pilotis, fait voir que les charges sur le sol par centimètre carré sont ordinairement comprises entre $2^{k},36$ et $12^{k},96$. Ces différences tiennent à la nature des terrains, à la difficulté de fonder au delà de 7 à 8 mètres de profondeur, et à l'incertitude où l'on est d'asseoir les fondations sur une base dont la stabilité absolue échappe à toute appréciation positive. On conçoit que, s'il est pratiquement possible de fouiller le lit d'une rivière assez profondément pour rencontrer une base immuable de fondations, on puisse alors donner moins d'étendue au travail hydraulique et lui faire supporter des charges plus en rapport avec la résistance des matériaux employés.

Dans les cas ordinaires, une pile de pont, dont la superstructure est d'environ 1,500,000 kilogrammes, pourrait être fondée sur trois piliers de 3 mètres de diamètre, produisant une surface de maçonnerie de $29^{mq}.20$ et une charge sur le sol par centimètre carré, compris le poids des piliers, de 6 à 13 kilogrammes entre les limites de 5 à 21 mètres de profondeur au-dessous de l'eau.

Dans les cas exceptionnels, on pourrait fonder sur six piliers. L'appareil a été disposé pour répondre à la construction de ces deux modes de fondations de piles, ainsi qu'à celles des culées de pont.

Le travail a lieu simultanément sur trois piliers formant une pile.

ENSEMBLE DE L'APPAREIL.

L'appareil se compose de quatre bateaux en tôle, de $13^{m},50$ de longueur sur $4^{m},90$ de largeur et $4^{m},25$ de hauteur, partagés en deux étages. L'étage supérieur est divisé en trois réservoirs destinés à être remplis et vidés d'eau pour former le lest ou contre-poids nécessaire à l'enfoncement des trois puits de 3 mètres de diamètre.

L'emploi de l'eau comme moyen d'immersion n'est pas une idée nouvelle; elle remonte à Coulomb, comme il est dit au renvoi de la note de M. Ch. Nepveu, page 32, et nous l'avons utilisé dans la première disposition de notre cloche pour démolition de piles en rivière. Ce qui est nouveau, c'est l'emploi de l'eau comme lest au-dessus du ni-

veau de l'eau, dans laquelle se fait le travail, et qui pour nous est destinée à remplacer, avec avantage pour les manœuvres, les matériaux qui, dans le bateau du Croisic, avaient pour but de s'opposer au soulèvement de la cloche travaillant avec l'air comprimé.

Ces bateaux sont assemblés de manière à établir un parallélogramme de 23m,30 de longueur sur 13m,90 de largeur, laissant entre eux un espace vide de 13m,50 de long sur 4m,10 de large. Cet assemblage s'obtient au moyen de forts boulons traversant les bordages supérieurs des bateaux, et d'écrous vissés en dedans des réservoirs.

Dans l'espace de 13m,50 sur 4m,10 laissé entre les bateaux, sont placées trois cloches ou têtes de puits à air comprimé, de 3m,30 de diamètre intérieur, écartées de 1 mètre entre elles. Sous ces cloches sont boulonnés des cylindres de même diamètre extérieur, de 0m,15 d'épaisseur, formés de douvelles en chêne de 3 mètres de hauteur. C'est dans ces cylindres et dans les cloches que s'effectue le travail des ouvriers [1].

Au-dessus de l'espace vide, transversalement à sa largeur et sur les deux bateaux formant les longs côtés, est établie une charpente en sapin de 28m,40 de longueur et de 13m,50 de largeur sur une hauteur de 9m,60 audessus du pont des bateaux. Cette charpente est composée de quatre rangs de fermes formant trois travées, entre lesquelles s'effectuent les manœuvres de chacun des trois puits, soit au centre de l'espace compris entre les quatre bateaux, lorsqu'il s'agit de fonder trois piliers, soit aux extrémités de la charpente, à droite ou à gauche, en dehors des bateaux, quand la fondation demande six piliers ou qu'on travaille aux culées.

Les manœuvres ont lieu au moyen de deux forts treuils par puits. Ces treuils mobiles sur des chemins de fer installés sur la troisième rangée de moises à 7m,10 au-dessus du pont des bateaux, c'est-à-dire à la partie supérieure des fermes qui composent l'ensemble de la charpente, ont pour mission, l'un de déplacer les cloches l'autre d'ajouter des cylindres, chaque fois que les puits ont pénétré de 3 mètres dans le sol : ils servent en outre à l'extraction des matériaux et aux manœuvres accessoires.

Sur l'un des bateaux sont installées deux machines à vapeur et leurs chaudières, de 20 chevaux chacune, destinées :

1° A comprimer l'air dans les puits pour en chasser l'eau et entretenir la respiration des ouvriers ;

2° A fournir d'eau les réservoirs suivant les besoins du lest :

3° A refouler l'eau dans les presses hydrauliques, faisant corps avec les

1. Dans cette note nous parlons seulement des cylindres en bois formant les puits. Nous les croyons d'une application très-pratique, moins chers et plus faciles à se procurer partout que les cylindres en tôle ou en fonte. Nous pensons encore aujourd'hui, comme lors de cette étude, que l'enveloppe d'une pile ne peut être considérée comme la base de la fondation et qu'elle n'est conséquemment qu'un moyen de transition entre la recherche du sol incompressible et la construction en maçonnerie de l'intérieur du puits constituant le soutien réel et indéfiniment durable de l'ouvrage.

cloches, et destinées à produire l'enfoncement des puits au fur et à mesure de l'excavation;

4° Enfin à remorquer le train des bateaux composant l'appareil, lorsque ce dernier, étant démonté, doit être transporté sur l'emplacement d'un nouveau travail.

Bateaux-réservoirs. La longueur des trois bateaux-réservoirs est de 13^m,10 et la largeur de 4^m,50, non compris un double bordage de 0^m,20, qui règne autour de chacun d'eux en haut et en bas de leur hauteur et qui porte leur longueur totale à 13^m,50 et leur largeur à 4^m,90. La hauteur de chaque bateau est de 4^m,25 près des bords et de 4^m,30 au milieu du pont, cintré de 0^m,05 pour l'écoulement des eaux. Ils sont divisés en deux étages par un plancher en tôle; l'étage inférieur a 2 mètres de hauteur, et l'étage supérieur 2^m,25.

Ces étages sont eux-mêmes partagés verticalement en trois compartiments étanches. Ceux de l'étage supérieur, d'une capacité totale de 114 mètres cubes, forment les réservoirs à eau du lest, et ceux de l'étage inférieur ou chambres à air assurent la flottaison de tout l'appareil chargé à son maximum. L'étage inférieur et le fond des réservoirs sont en tôle de 0^m,005; l'étage supérieur et les cloisons en tôle de 0^m,003. Chaque réservoir des bateaux est traversé par un puits qui donne accès, au moyen d'une échelle fixe, dans chacun des trois compartiments de la cale. Ces derniers ont leurs parois formées, l'une par le grand côté du bateau, l'autre par une cloison des réservoirs; les deux autres par une tôle cintrée de 0^m,003 d'épaisseur sur 1^m,20 de largeur et 2^m,25 de hauteur.

Huit gaînes en tôle de 0^m,005 d'épaisseur, dont un ou deux côtés font partie des flancs du bateau, suivant leur position, le traversent dans toute sa hauteur et sont destinées à recevoir les grands poteaux de la charpente et les poteaux d'amarrage; qu'on fixe solidement après les gaînes, dans l'étage inférieur, par de forts boulons.

Les tôles des côtés et du fond de chaque gaîne, ainsi que le fond des réservoirs, sont maintenus et supportés par des cornières : les grands côtés par dix-huit tôles à cornières de 3^m,75, les petits par six tôles à cornières de 3^m,75 de haut, les cloisons des réservoirs par une cornière pour river la tôle des puits et deux cornières en croix sur le reste de la surface, le fond et le plancher chacun par dix-huit cornières de 4^m,50 de longueur.

Sur le bord des bateaux règne ordinairement un bordage de 0^m,10 d'épaisseur sur 0^m,30 de hauteur placé vis-à-vis du bordage extérieur, dont il n'est séparé que par l'épaisseur de la paroi du bateau. Sur ce bordage extérieur une pièce de bois de même épaisseur et de 0^m,20 de hauteur laisse passage aux robinets-vannes, destinés à régler l'arrivée de l'eau dans les réservoirs, et à dix-huit encastrements pour dix-huit cintres en bois de champ de 0^m,20 de hauteur sur les bords, de 0^m,25 au milieu, et de 0^m,10 d'épaisseur, avec gouttières pour l'écoulement de

l'eau. Ces cintres supportent quinze pannes mobiles et quatre autres fixées entre les poteaux, au-dessus des cloisons des réservoirs; ils divisent le pont en trois parties égales.

Sur le bordage d'un des grands côtés de chaque bateau est établie une conduite en tôle de 0m,18 de diamètre, qui amène l'eau de condensation des machines dans les réservoirs pour compléter en temps utile le lest du contre-poids.

Les deux bateaux qui reçoivent la charpente portent extérieurement, à la hauteur du fond des réservoirs et du même côté que les puits, trois planchers échancrés suivant un demi-cercle dont le centre est sur la paroi verticale du bateau. Ces planchers sont destinés à maintenir et à guider les puits, à en faciliter la pose et à prévenir les accidents.

Bateau des machines. Le bateau des machines diffère des trois précédents en ce qu'il est terminé par un avant de 4 mètres, pour faciliter sa marche comme remorqueur. Il ne contient que deux réservoirs à l'étage supérieur, cubant 77 mètres et placés au milieu de sa longueur; l'un d'eux est traversé par un puits pour le passage de la cheminée des chaudières. Le dessus des machines est libre, ce qui donne une hauteur de 4m,25 pour leur installation.

Le reste de la construction est semblable à celle des autres bateaux.

Charpente. La charpente, qui s'attache à deux des bateaux par seize poteaux entrant dans les gaînes de 4m,25 de hauteur, se compose de quatre fermes formant trois travées, affectées chacune à la manœuvre d'une cloche de puits et des cylindres qui doivent être successivement enfoncés dans le sol. Le travail de fondations peut y avoir lieu dans trois positions différentes de la cloche : au milieu et entre les quatre bateaux accouplés pour la construction des piles à trois piliers, à chacune des extrémités des travées pour la fondation des piles à six piliers, pour celle des culées sur chacune des rives et pour les travaux de rivage.

Chaque ferme comprend : 1° quatre poteaux de 13m,90, descendant jusqu'au fond des bateaux, dans lesquels ils sont encastrés et boulonnés comme il a été dit; 2° cinq autres poteaux de 9m,60; 3° douze arcs-boutants de 9m,75, l'équarrissage de ces diverses poutres est de 0m,30; 4° quatre rangées de moises, dont la première, la troisième et la quatrième, à partir du pont des bateaux, ont 28m,40 de longueur; la seconde rangée est formée de moises de 2m,10 et 2m,30 alternées et réunissant un poteau et deux arcs-boutants. Cette rangée est ainsi disposée, afin de laisser un libre accès aux cloches, qui sont placées dans les intervalles et un passage sur les bateaux d'une travée à l'autre. Toutes les moises ont 0m,30 sur 0m,20; elles sont encastrées et entaillées de 0m,05 sur les poutres et fixées par des boulons à écrous.

Ces quatre fermes sont solidement réunies entre elles, d'abord par les quatre bateaux accouplés, et ensuite par vingt-six moises transversales de 13m,50 de longueur sur 0m,30 et 0m,20 d'épaisseur. Vingt-deux de ces

moises sont fixées au-dessus des fermes, sur la quatrième rangée de moises longitudinales; deux autres aux extrémités de la première au-dessus des bateaux, et les deux dernières aux extrémités de la troisième rangée: elles rendent ainsi tout écartement des travées impossible.

Treuils à chariot. Sur la troisième rangée de moises longitudinales de cette charpente sont établies trois voies de fer, sur chacune desquelles se meuvent deux forts treuils à plate-forme montés sur chariot; ces treuils sont destinés : 1° à la manœuvre des cloches et des cylindres, au moyen de deux chaînes en fer et de deux leviers à déclic; 2° à l'enlèvement des matériaux sortant des puits ou à l'introduction de ceux nécessaires, dans certains cas, à la construction des piliers. Les treuils fonctionnent alors au moyen de manivelles et de cordages; les manivelles agissant sur les treuils en sens inverse des leviers à déclic; les chaînes, dont on attache les extrémités au bâti du treuil, font contre-poids de la moitié de leur pesanteur pour le soulèvement des bennes. Un frein puissant est adapté à chaque treuil dont le bâti en fonte, supporté par deux essieux, porte en outre un déclanchage à levier entrant dans des arrêts placés sur les moises près des rails, aux endroits où il est nécessaire d'assurer la fixité des treuils; deux roues d'angle, placées sur chaque essieu et commandées chacune par une manivelle, permettent à deux hommes d'effectuer les mouvements de translation. En outre de ces arrêts pour les treuils, les extrémités du chemin de fer sont relevées de manière à créer des buttées évitant toute chance d'accidents, en cas de fausse manœuvre.

Treuils sur les bateaux. Deux treuils ordinaires sont établis sur chacun des bateaux portant la charpente et placés au bout sur le côté extérieur. Ils sont destinés : à l'amarrage de l'ensemble de l'appareil sur le point du travail, au hissage des matériaux sur les bateaux, enfin aux manœuvres à exécuter.

Les puits, dans lesquels s'opère le travail d'excavation du sol et qui peuvent atteindre, comme il a été dit, une profondeur de 21 mètres au-dessous du niveau de l'eau, sont ici formés de cylindres en bois de chêne, de $3^m,30$ de diamètre extérieur et de 3 mètres de hauteur.

Cylindres des puits. Chaque cylindre se compose de soixante-deux poutrelles de $0^m,15$ d'épaisseur et $0^m,16$ de largeur, assemblées en douves et maintenues par cent quatre-vingt-six boulons à écrous sur trois cercles intérieurs; ceux des extrémités sont en fer cornière, ils forment bride intérieure et servent à joindre les cylindres au bout les uns des autres au moyen de quarante-huit boulons.

Les cercles sont construits en plusieurs morceaux reliés entre eux par des bandes de fer de section convenable, encastrées dans les poutrelles et prises sous les boulons de serrage. Ils sont préparés d'avance ainsi que les poutrelles de chêne.

On procède au montage des cylindres sur le pont des bateaux entre chaque travée de cloches sous les treuils de la charpente. Les joints des

poutrelles sont goudronnés, et on peut augmenter leur solidité en pratiquant des tenons dans l'épaisseur des bois. Après le montage, avant ou après la mise en place sur les puits, on les calfate intérieurement si le besoin l'exige.

Chaque cylindre reçoit une échelle et un tuyau à bride fixé sur la paroi; l'échelle sert à la descente et à la sortie des ouvriers; le tuyau, qui se raccorde avec celui des cylindres placés au-dessus et au-dessous est destiné à former un siphon pour l'évacuation des eaux au fur et à mesure de la compression de l'air dans l'intérieur des puits et de leur enfoncement.

Le cylindre du fond des puits est armé à son bord inférieur, qui presse sur le sol, d'un sabot en fonte de fer composé de plusieurs bouts reliés entre eux comme les cercles et dans lequel s'emboîtent les poutrelles, qui y sont retenues et liées par soixante-deux boulons à écrous.

Un plancher circulaire et mobile, fixé par des vis calantes horizontales faisant partie d'un cercle en fer cornière à consoles, dont elles augmentent à volonté la circonférence, est installé à 2 mètres au-dessus du fond des puits pour les manœuvres et le dépôt des outils pendant le travail.

Cloches ou têtes des puits. La communication de l'extérieur avec l'intérieur des puits pour le passage des ouvriers et des matériaux a lieu par des cloches en tôle de fer de même diamètre que celui extérieur des puits. Ces cloches font joint sur le dernier cylindre des puits à l'aide des boulons du cercle supérieur en fer cornière; elles sont en tôle de $0^m,005$ d'épaisseur et formées d'un cylindre en tôle d'une hauteur de $1^m,35$, terminé supérieurement par un hémisphère de $1^m,65$ de rayon, et inférieurement par un plancher en tôle de $0^m,005$, percé d'une ouverture pour la descente dans le puits et la circulation des matériaux. Les cloches sont divisées intérieurement en deux parties inégales par une cloison en tôle, dans laquelle est pratiquée une porte métallique fermant hermétiquement au moyen d'une garniture en cuir et qui permet, en temps utile, de faire communiquer les deux chambres entre elles.

Chambre d'extraction. La plus grande de ces chambres, est destinée au travail d'extraction des matériaux et communique directement dans les puits où travaillent les ouvriers par l'ouverture qui existe dans le plancher de la cloche. Cette ouverture un peu excentrique à la cloche est circulaire pour le passage des bennes d'extraction des matériaux et porte une échancrure rectangulaire correspondant à l'échelle de descente des ouvriers. C'est dans cette chambre que débouche le tube à pompe destiné à suivre la descente de la cloche et qui amène l'air des pompes foulantes.

Le corps des deux presses hydrauliques fixées après la cloche même y pénètre également sans communication, et le tube à siphon qui rejette l'eau en dehors aboutit près de l'échelle, afin qu'un homme placé sur

cette dernière puisse le raccorder chaque fois qu'on ajoute un nouveau cylindre aux puits.

L'enlèvement et la descente des bennes s'effectuent au moyen d'un treuil à noix adhérent à la paroi de la chambre d'extraction, dont la chaîne est dirigée, par deux poulies de renvoi, vers le centre de l'ouverture pratiquée dans le plancher pour le passage de la benne.

Des lentilles de verre épais, convenablement réparties sur le dôme et sur la circonférence de la cloche, laissent pénétrer le jour dans la chambre d'extraction.

Sas à air. La chambre intermédiaire ou sas à air communique, comme il a été dit, avec la chambre d'extraction au moyen d'une porte à fermeture exacte; un robinet à papillon, pouvant se manœuvrer de l'intérieur de chacune des deux chambres, permet d'établir à volonté l'équilibre de pression de l'air, et d'ouvrir cette porte. Un autre papillon permet également d'établir l'équilibre de pression entre la chambre intermédiaire et l'air extérieur pour ouvrir deux portes, dont l'une, dite porte d'entrée et située sur le côté et au niveau du plancher de la cloche, donne passage aux ouvriers, et l'autre, dite porte d'enlèvement formant le dessus du sas à air, qui est terminé à sa partie supérieure par une espèce de puits carré de la même hauteur que la cloche, est destiné à la circulation des bennes. La porte d'enlèvement est fermée au moyen d'une chaîne et d'un treuil; cette précaution est nécessitée par sa hauteur et la position horizontale qu'elle occupe dans le sas à air, position qui oblige à la maintenir jusqu'à ce que l'air soit assez comprimé pour en opérer la fermeture réelle. La fermeture de la porte d'enlèvement par le treuil est en outre indispensable, pour le cas où on viendrait à marcher sur elle pendant que la porte d'entrée des ouvriers serait ouverte, parce qu'alors le moindre poids additionnel en déterminerait l'ouverture, et des accidents pourraient en résulter.

Une échelle fixée intérieurement à la paroi du sas à air, en regard de la porte de communication, permet au besoin de sortir par la porte d'enlèvement, de visiter cette dernière ou de guider les bennes : un rouleau à demeure, situé derrière cette échelle à une hauteur convenable, permet, au moyen d'une corde, d'attirer la benne suspendue au treuil de la chambre d'extraction dans le sas à air, lorsque l'équilibre de pression a été établi entre ces deux chambres, et que la porte intermédiaire est ouverte.

A côté de cette échelle intérieure se trouve la porte d'entrée des ouvriers dans le sas à air.

Ce dernier est éclairé par trois lentilles placées sur les trois portes qui y communiquent; la lentille de la porte intermédiaire permet de voir ce qui se passe du sas à air dans la chambre d'extraction, et réciproquement.

Galerie et plate-forme. Le bas de la cloche est entouré extérieurement d'une galerie circulaire de service de 0m,20 de largeur. Une main cou-

rante en facilite la circulation ; une échelle extérieure, placée en regard de celle intérieure du sas à air, permet de monter de cette galerie sur une plate-forme entourée d'un garde-corps, établie au-dessus du dôme de la cloche, et servant pour les manœuvres des bennes, le raccordement de la conduite d'air comprimé avec le tube à pompe et celui du tuyau d'eau des deux presses hydrauliques.

Le tube à pompe et les presses hydrauliques font partie de la tête des puits.

Conduite d'air comprimé. L'air comprimé fourni par les pompes des machines à vapeur est amené à chacune des places que peuvent prendre les cloches sur la charpente pour le travail des piles ou des culées, par une conduite en tôle de fer plombée de 0^m,08 de diamètre. Cette conduite s'élève près de chaque cloche le long d'un des poteaux de la charpente jusqu'à la hauteur de 5^m,20, et s'embranche avec un tube à pompe en cuivre, en forme de trombone, qui descend de 4^m,10 dans un second tuyau en cuivre fixé le long d'une des presses hydrauliques de la cloche, et muni à sa partie supérieure d'une garniture en cuir embouti : ce tuyau est terminé en bas par une demi-sphère, qui pénètre dans la cloche sur le plancher au-dessous duquel débouche l'air comprimé. Le mouvement de ces deux tuyaux en cuivre, qui constituent le tube à pompe, permet l'entrée de l'air comprimé dans les cloches sur tout leur parcours, qui est de 3 mètres de course. Un joint, établi au coude du tuyau plongeur, se démonte chaque fois qu'on déplace les cloches pour ajouter au puits un nouveau cylindre.

Presses hydrauliques. L'enfoncement des puits, au fur et à mesure de l'approfondissement des travaux, a lieu, à l'aide de deux puissantes presses hydrauliques [1], d'une construction particulière, fixées invariablement à la tête des puits, dans la paroi de la cloche et aux extrémités d'un diamètre symétrique au sas à air et à la chambre d'extraction. Ces presses de 3 mètres de course, et dont le plongeur a 0^m,25 de diamètre, sont projetées pour fonctionner jusque sous la pression de 216 atmos-

1. Nous rappelons comment nous fûmes amenés en 1854 à l'application de la presse hydraulique. L'ensemble de l'appareil à trois puits, avec bateaux et lest pour le fonçage à 21 mètres, nous donnait 812,300 kilogrammes. Il s'agissait de soulever cette masse pour la mettre en fonction sur les puits, soit par des chaînes ou par des vis. Les inconvénients des chaînes étaient insurmontables ; il fallait 4 énormes chaînes avec treuil par puits, dont les maillons, calculés à 20 kilogr. de résistance par millimètre de section à la traction, n'auraient pas eu moins de 0^m,087 de diamètre.

Le très-grand diamètre des vis, leur nombre sur chaque puits, et leur course de 3 mètres, étaient d'une application également impraticable.

C'est alors, qu'exclusivement préoccupés de cette difficulté, nous pensâmes, en nous reportant à la solution élégante de Stephenson pour le soulèvement et la mise en place des grandes travées de 140 mètres du pont Britannia, à utiliser la presse hydraulique pour produire l'effet inverse, c'est-à-dire l'enfoncement de nos piles tubulaires.

phères. Les corps de pompe descendent avec la cloche dont ils font partie rigide, et les plongeurs reçoivent intérieurement un tuyau par lequel l'eau des pompes est injectée dans le corps de presse. Ils sont liés à leur sommet par une poutre traversant d'une presse hydraulique à l'autre, et qui, en s'appuyant sous la troisième rangée de moises, au-dessous des voies de fer, tend à soulever par l'action de l'eau des pompes dans les presses, tout le système de l'appareil, dont le poids total avec lest, lorsque les puits ont atteint la profondeur de 21 mètres, est de 812,300 kilogrammes.

L'eau d'injection est amenée par un tuyau en cuivre épais, venant des pompes des machines et embranché sur la charpente, de manière à aboutir à toutes les positions que la cloche peut occuper sur cette dernière. Ce tuyau monte le long d'un des poteaux de la charpente, près du tube à pompe d'air comprimé, et se raccorde avec la presse voisine; un tuyau semblable, noyé dans l'épaisseur de la poutre qui reçoit l'effort de soulèvement des deux plongeurs, porte l'eau à la seconde presse.

Cette disposition étant la même, ainsi que celle de l'arrivée d'air comprimé pour chacune des trois cloches des puits, il résulte que la pression de l'air dans les trois cloches, et celle de l'eau dans les six presses hydrauliques, sont toujours uniformément produites; que dès lors, le soulèvement et l'enfoncement des puits en vue de leur direction peuvent toujours être réglés par l'action des presses, et les chances d'accidents singulièrement amoindries par le fait de la séparation facile et instantanée du lest et des puits.

Siphon. La plus grande branche du siphon ayant pour mission de faciliter la sortie de l'eau des puits, lorsque ceux-ci sont engagés dans le sol, est composée, comme il a été dit, d'une série de tuyaux de 3 mètres, fixés chacun à un des cylindres de puits.

Le sommet de cette branche est en communication, par l'intermédiaire d'une capacité demi-sphérique qui sort extérieurement de la cloche, avec la seconde branche du siphon qui descend jusqu'à la surface de l'eau, et dont l'effet est de n'opérer que l'effort nécessaire pour élever l'eau des puits au niveau extérieur. L'extrémité inférieure de la grande branche du siphon, située au fond des puits, est terminée par un tube flexible, et par une pomme d'arrosoir qu'on dirige à la partie la plus basse du terrain pour obtenir la mise à sec du sol.

L'expulsion de l'eau dans les puits peut être activée, après l'installation d'un nouveau cylindre, par des robinets placés à différentes hauteurs sur la longue branche du siphon, au moyen desquels on peut faire agir la pression de l'air comprimé, et accélérer ainsi la vitesse ascensionnelle de l'eau dans le siphon. La rentrée des matériaux en même temps que l'eau par le bas des tubes, lors de l'addition de chaque cylindre, s'évite en utilisant le siphon pour déverser lentement l'eau des contre-poids dans

les puits au fur et à mesure de l'échappement de l'air comprimé dans l'atmosphère. Le résultat est encore obtenu plus rapidement en refoulant dans les puits l'eau des réservoirs par les pompes d'alimentation des contre-poids.

Distribution d'eau dans les réservoirs contre-poids. Un lest puissant, quoique variable, étant la première condition à remplir pour faciliter le fonctionnement de l'appareil, il nous a paru simple d'utiliser l'eau de condensation des machines à vapeur pour alimenter les réservoirs, sans recourir à des pompes spéciales. Les pompes à air, qui fournissent jusqu'à 90 mètres cubes par heure, pourront remplir en moins de cinq heures les onze réservoirs des quatre bateaux, dont la capacité est de 420 mètres; ce résultat ne sera pas utile ordinairement, alors même que les puits descendraient de 3 mètres par 24 heures, puisque le poids du lest n'augmente que proportionnellement à la profondeur des puits.

Cependant il pourrait arriver que, dans le cas où la flottaison de l'appareil se rapprocherait trop du niveau des réservoirs, ou que le fond des bateaux serait moins de 2 mètres du lit de la rivière, que pour ajouter un cylindre, lorsque les puits auront atteint 18 mètres, on se trouve obligé de jeter une partie du lest, alors seulement les 90 mètres cubes d'eau, élevés pendant le temps de l'expulsion de l'eau des puits, ne suffiraient pas, et il faudrait attendre deux heures la reprise des travaux, c'est le cas exceptionnel.

Ainsi qu'il a été dit, l'eau des pompes de condensation est amenée des machines par une conduite de 0m,18 de diamètre qui, circulant sur un des bordages des bateaux, aboutit à chaque réservoir par des robinets vannes, au moyen desquels on règle le niveau. Des tampons de décharge à grande section permettent de vider les réservoirs très-rapidement au besoin.

Machines. Le système d'éclusage et de construction des puits nécessite l'expulsion de l'eau à chaque addition d'un nouveau cylindre, c'est-à-dire tous les trois mètres d'enfoncement. C'est un temps perdu, pendant lequel les ouvriers attendent la reprise du travail et qu'il importe de diminuer autant que possible. Dans ce but, nous nous sommes proposé d'épuiser l'eau des trois puits en une heure, lorsqu'ils ont atteint 21 mètres de profondeur. Les trois puits représentent un cube d'eau de 541 mètres; à cette profondeur, le travail utile des machines est de 2606 kilogrammes ou 36,75 chevaux, auquel il convient d'ajouter un excédant pour le travail des presses, et l'élévation de l'eau de condensation dans les réservoirs.

En outre, la condition de remorquer à petite vitesse, d'une rivière à une autre, avec ses propres machines, les bateaux chargés des diverses parties de l'appareil, se trouve remplie, en employant une force propulsive de 40 chevaux.

Dans ces prévisions, deux machines de 20 chevaux chacune sont ins-

tallées à l'arrière du bateau qui leur est affecté[1]. Elles peuvent marcher accouplées ou séparément, en avant et en arrière ; elles fonctionnent à deux atmosphères de pression avec détente variable et condensation. Chaque machine occupe sur les côtés du bateau un espace de 3 mètres de hauteur, 3 mètres de longueur et 1m,10 de largeur, compris le volant, et comprend une pompe à comprimer l'air à double effet, dont le corps de pompe est symétrique au cylindre moteur.

Les cylindres sont situés aux extrémités d'un grand balancier qui leur est supérieur. En voici les principales dimensions :

Nombre de tours par minute.	30
Course du piston de la machine et de celui de la pompe à comprimer.	1m,00
Diamètre des cylindres de la machine et de la pompe.	0 ,40
Longueur du balancier d'axe en axe.	2 ,525
Course de la pompe à air.	0 ,500
Diamètre *id.*	0 ,27
Course des pompes hydrauliques.	0 ,125
Diamètre des plongeurs.	0 ,018
Diamètre du volant à alluchons.	3 ,000
Course de la manivelle du volant.	0 ,50

Le cylindre moteur est entouré d'une enveloppe en tôle par laquelle passe la vapeur avant de se rendre au condenseur situé au-dessous. Une enveloppe semblable forme le réfrigérant du cylindre à comprimer l'air au moyen de l'eau froide, qui y circule avant d'aller au condenseur.

Un balancier de 0m,87 d'axe en axe, placé sur la plaque de fondations, transmet le mouvement du balancier supérieur par deux bielles au volant qui occupe le milieu de la machine.

Les parallélogrammes sont remplacés par des glissières et les guides en sont fixés sur les couvercles des cylindres.

La distribution et la détente de la vapeur sont obtenues par un seul tiroir. Un pendule conique donne le mouvement variable par l'intermédiaire d'une vis à deux points de touche qui se promènent sur un excentrique à came hélicoïde situé sur l'arbre du volant.

L'ouverture ou la fermeture des papillons ou disques horizontaux à centre, qui remplacent les soupapes dans la pompe de compression, ont lieu mécaniquement à des instants variables. Au moyen d'excentriques hélicoïdes, semblables à celui de la détente et de la distribution du cylindre moteur ; une vis, qui déplace ces excentriques sur les touches du

1. Nous nous réservons d'appeler l'attention de la Société sur les détails de construction de ces machines qui, à elles seules, forment une étude. Elles présentent, selon nous, des améliorations précieuses pour les travaux de fondation.

levier de communication aux papillons, reçoit son mouvement par la descente des puits ; de sorte que l'ouverture des papillons a toujours lieu à l'instant où la pression de l'air, dans le corps de pompe, est la même que dans les puits. De ce fonctionnement mécanique, il résulte cet avantage, qu'on n'a pas à vaincre l'inertie des soupapes d'émission ordinaires, qui, ayant leur plus petite surface du côté du piston, exigent toujours une pression proportionnellement plus grande pour s'ouvrir seules ; leur fermeture hermétique d'ailleurs est difficile et n'est pas instantanée ; de là des pertes d'air et de force motrice très-appréciables [1].

La pompe à air, dont l'eau est envoyée à volonté dans les réservoirs contrepoids, est située sur la plaque de fondation du côté du cylindre moteur et du pendule conique ; elle reçoit le mouvement du grand balancier et fournit habituellement un volume d'eau de 10 litres 76 par seconde, qui peut être porté à 25 litres, en augmentant l'injection, ou à 90 mètres cubes d'eau par heure pour les deux pompes à air.

La pompe d'alimentation et une pompe à eau pour les presses hydrauliques sont établies sur la plaque de fondations en regard de la pompe à air et reçoivent leur mouvement du balancier inférieur. La pompe des presses hydrauliques demande 69 kilogrammètres 5 de travail moteur en supposant l'enfoncement des trois puits de 3 mètres par vingt-quatre heures.

Les volants des deux machines portent des alluchons engrenant à volonté avec des roues trois fois plus petites fixées sur un arbre transversal au bateau. Cet arbre porte en son milieu une roue d'angle qui transmet le mouvement à l'arbre d'une hélice en fonte ayant les proportions suivantes :

Diamètre de l'hélice.	$1^m,10$
Largeur de la spire complète ou pas.	0 ,10
Nombre de pelles.	3
Longueur des pelles parallèlement à l'axe. . . .	$0^m,37$
Nombre de tours par minute.	90
Section immergée du bateau ($1^m,10 \times 4^m,50$). . .	$4^m,95$

Lorsque les machines à vapeur doivent faire mouvoir l'hélice, on dételle les bielles qui réunissent les tiges de piston des pompes de compression avec les balanciers supérieurs. Elles transmettent alors leur mouvement à l'hélice par les volants à alluchons.

1. Le fonctionnement mécanique des soupapes d'émission dans les pompes de compression a été réalisé par nous en 1844, et appliqué au gaz d'éclairage sur une machine à deux cylindres de $0^m,13$ de diamètre et $0^m,38$ de course fonctionnant à 12 atmosphères. Cette machine fait partie d'une étude et d'un ensemble d'appareils que nous avons présentés à l'Académie des Sciences, en 1849.

Les chaudières occupent la cale du bateau sur le même plan que les machines. Elles sont cylindriques à foyers et bouilleurs intérieurs et dôme de vapeur. Des cylindres réchauffeurs forment les séparations des carneaux sous l'enveloppe.

Elles ont les dimensions suivantes :

Diamètre du corps à la chaudière. . .	1m,00
Diamètre *id.* avec l'enveloppe. . .	1 ,50
Longueur *id.*	8 ,00
Diamètre du dôme.	0 ,75
Hauteur *id.*	0 ,75
Nombre des bouilleurs intérieurs. . .	2
Diamètre *id.* . . .	0m,40
Longueur *id.* . . .	5 ,00
Nombre des réchauffeurs.	4
Diamètre *id.*	0m,16
Longueur *id.*	7 ,00

Les soutes à charbon sont formées par l'espace compris entre les parois du bateau et celle des chaudières au-dessous des réservoirs. Elles peuvent contenir 18 tonneaux pour 10 ou 12 jours d'approvisionnement de combustible.

Montage de l'appareil. Les quatre bateaux étant rendus sur l'emplacement du travail, on procédera au montage de l'appareil en commençant par placer les deux bateaux de la charpente dans le sens du courant, parallèlement l'un à l'autre, environ à 4m,10 de distance, du côté de la conduite d'eau des réservoirs; on approchera ensuite, pour être boulonnés, le bateau des machines en aval, et le quatrième bateau en amont, les conduites d'eau placées en regard. On procédera à l'installation de la charpente en dressant et boulonnant les 16 poteaux dans leur gaîne, puis le premier, troisième et quatrième rang de moises, du côté des têtes de boulons seulement; on posera ensuite sur ces moises les poteaux intermédiaires et les arcs-boutants, on mettra en place le second côté des moises ainsi que le deuxième rang, et on boulonnera définitivement. Lorsque les quatre fermes seront dressées, après avoir posé toutes les moises transversales, on élèvera les treuils sur leurs rails. Pendant ce temps, le montage des conduites d'air comprimé et d'eau des presses hydrauliques aura été fait sur la charpente, ainsi que le raccordement de la conduite d'eau des réservoirs entre les bateaux et celui des machines.

Dès le début du montage de la charpente, la construction des trois premiers cylindres des puits aura été commencée sur les bateaux des côtés, celle de deux sur l'un, au-dessous des travées extrêmes, et celle du troisième sur le second bateau au-dessous de la travée du millieu de la charpente.

Les espaces intermédiaires laissés sur les bateaux par les cylindres en construction, étant occupés par les têtes de puits, chacune au-dessous d'une travée et en regard d'un cylindre dans la position où elles ont été remorquées par les bateaux, c'est-à-dire reposant chacune sur le fond d'un réservoir en n'excédant le pont que de 2m,10, il sera facile d'entreprendre la pose des premiers cylindres dans l'eau, ainsi que celle des têtes de puits sur ceux-ci à l'aide de deux treuils de chaque travée.

Pour assurer la flottaison régulière des quatre bateaux, on aura eu le soin de répartir uniformément la charge sur chacun d'eux avant le montage, de telle manière que ce dernier pourra s'effectuer à son tour sans grand dénivellement, en élevant de l'eau dans les réservoirs du quatrième bateau et dans ceux du bateau des machines, au fur et à mesure qu'on les allégera des pièces de bois de la charpente pour en charger les deux premiers bateaux.

Le boulonnage des têtes de puits sur les cylindres étant achevé, ainsi que le raccordement des tubes à pompe sur la conduite d'air comprimé, et celui des tuyaux d'eau d'injection des presses hydrauliques, on fera mouvoir les machines de compression soit pour refouler l'air dans les puits s'il y a lieu, soit pour élever l'eau dans les réservoirs, enfin on mettra les presses hydrauliques en mouvement : alors on sera prêt à commencer le travail d'excavation.

Manœuvre de l'appareil. Les machines fonctionnant régulièrement, et les puits étant privés d'eau, les ouvriers entrent dans les sas à air, ferment la porte d'entrée, établissent, au moyen du papillon, l'équilibre entre le sas et la chambre d'extraction, ouvrent la porte intermédiaire, ferment le papillon et descendent au travail.

Lorsqu'une benne est pleine, on avertit l'ouvrier du sas à air, afin qu'il ferme le papillon et la porte d'entrée extérieurs, dans le cas où ils seraient ouverts; on élève la benne dans la cloche avec le treuil intérieur, on ouvre le papillon pour produire l'équilibre dans le sas, on attire la benne dans celui-ci au moyen d'une corde et d'un rouleau fixé à la paroi de la chambre en face la porte de communication, on décroche la benne, on ferme la porte et le papillon de communication, et on ouvre la porte d'enlèvement du sas au moyen du petit treuil intérieur; un des gros treuils de la charpente enlève alors la benne du sas à air et la transporte à une des extrémités du chemin de fer, pour la décharger dans un chaland; on ferme la porte d'enlèvement du sas et on attend une nouvelle benne.

L'enlèvement des bennes, comme on le voit, donne lieu à une espèce d'éclusage qui porte à économiser le volume d'air comprimé perdu à chaque passage, en réduisant les dimensions du sas à celles strictement nécessaires, en faisant les bennes aussi grandes que possible, et enfin en profitant de leur enlèvement pour les entrées et les sorties des ouvriers pendant le travail. La capacité du sas à air étant de 3mc,265, celle d'une

benne pleine de 0mc,385, et celle d'un homme de 0,065, on perdra par éclusage et par atmosphère 2m,815 ou 22 coups simples de pistons des machines, c'est-à-dire le travail d'une seule machine pendant un tiers de minute environ. Le sas à air est assez grand cependant pour que dix hommes puissent s'y tenir en laissant l'espace nécessaire à la fermeture de la porte extérieure; de ces dix hommes, deux restent sur le plancher de la cloche pour la surveillance, les manœuvres du treuil intérieur et pour celles du sas à air, les huit autres travaillent au fond du puits.

Lorsque le travail d'excavation sera assez avancé dans les trois puits pour qu'il soit nécessaire d'ajouter un cylindre à chacun d'eux, les ouvriers sortiront en faisant la manœuvre inverse de celle faite pour y entrer. Si le sas communique avec l'extérieur, on avertira de la chambre d'extraction qu'on ait à fermer la porte d'entrée; on ouvrira le papillon intermédiaire pour établir l'équilibre dans le sas; les ouvriers passeront ensuite dans celui-ci, refermeront la porte de communication, ouvriront le papillon extérieur, et pourront sortir des cloches aussitôt que la pression atmosphérique sera rétablie dans le sas. Si, au contraire, le sas est en communication avec la chambre d'extraction, les ouvriers y entreront directement et procéderont de la même manière que dans le premier cas pour en sortir.

Après la sortie des ouvriers, on laissera l'eau pénétrer dans les puits en donnant issue à l'air comprimé, et on jettera une partie du lest s'il est nécessaire; on ouvrira les presses hydrauliques pour faire rentrer les plongeurs dans les corps de presses dont ils seront sortis de 3 mètres; on défera les joints de la conduite d'air et ceux du tuyau des presses, puis on déboulonnera les têtes de puits qu'un des treuils de chaque travée de la charpente viendra soulever de 3m,10, et déplacer de 5 mètres sur un côté, en les tenant suspendues pendant que les seconds treuils viendront déposer sur les puits trois nouveaux cylindres qui auront été construits sur les bateaux ainsi qu'on l'a vu.

On replacera les cloches sur les puits, on boulonnera de nouveau les joints et on procédera au refoulement des eaux, après quoi les ouvriers reprendront le travail.

L'interruption du travail ne sera jamais d'une longue durée, car on a vu que les machines peuvent refouler en une heure 21 mètres de hauteur verticale d'eau, ou 147 mètres cubes dans chaque puits, et que les pompes à air fournissent dans le même temps un lest de 90,000 kilogrammes.

Le système d'éclusage et d'addition des cylindres entraîne une perte de temps et d'air comprimé assez considérable; c'est une lacune à laquelle nous n'avions pas alors donné de solution. A ce sujet nous devons rendre hommage à la vérité, et faire connaître que M. Lechatellier, ingénieur en chef des mines, nous a laissé au mois de février 1853, au sujet des fondations du pont de Langon, un croquis que nous joignons à cette note (pl. 24, fig. 5) et qui donne non-seulement une solution de cette difficulté,

mais encore l'idée entière de la disposition si heureusement appliquée aux fondations du pont de Kehl.

C'est en effet une cloche en fonte ou en tôle à nervures de $2^m,20$ de hauteur, ayant la surface et la forme de la pile, dans laquelle s'effectue le travail d'excavation par les ouvriers; sur les parois latérales sont fixées des poutres verticales servant de charpente à un caisson de hauteur indéfinie, dans lequel la maçonnerie de la pile se construit au fur et à mesure de l'enfoncement. Le service d'excavation a lieu par drague ou par benne, au moyen de deux puits verticaux de 1 mètre à $1^m,50$ de diamètre, traversant la maçonnerie et en communication à la partie supérieure, et au-dessus du niveau de l'eau par un ou deux sas à air en forme de tube rectangulaire horizontal. Ici, le draguage n'avait pas lieu à l'air libre, mais, comme on le voit, M. Lechatellier construisait toute la pile sans vider l'air de la cloche et des puits par un travail continu; la tête seule des puits, c'est-à-dire le sas, était mobile pour se prêter à l'addition des anneaux des puits au fur et à mesure de l'enfoncement du système.

Enfoncement des puits par les presses hydrauliques. De ce qui précède il résulte que les puits sont sollicités à pénétrer dans le sol par leur propre poids, et en outre par celui de tout l'appareil, car le poids de ce dernier est transmis sur les puits par les presses hydrauliques, qui, étant fixées aux cloches, cherchent à soulever le système de charpente et de bateaux, et le soulèvent en effet de toute la hauteur dont s'enfoncent les puits.

Au fur et à mesure de la pénétration des puits, le frottement de leur paroi doit nécessairement augmenter, et quoique des expériences n'en aient pas fait connaître la valeur pour les divers terrains qu'on peut rencontrer, il est sans doute assez considérable pour qu'à 21 mètres au-dessous de l'eau et avec les moyens énergiques dont l'appareil dispose, on considère la base de fondation assurée, lors même qu'on ne toucherait pas le rocher.

Voici les poids de l'appareil affectés à vaincre le frottement :

Au début du travail, l'appareil pèse sans lest avec trois puits de 3 mètres de hauteur 300,200 kilogrammes.

A $10^m,50$ de profondeur l'appareil avec les puits pèse 345,900 kilog., la résistance de l'eau étant de 263,400 kilog., on a encore 82,500 kilog. sur le poids de l'appareil pour surmonter les frottements sans avoir recours au lest.

Enfin à 21 mètres et en employant toutes les ressources de l'appareil, on a :

Poids de l'appareil.	280,200 kil.	}
Poids des puits en chêne et fer.	111,400	} . . . . . 812,700 kil.
Poids maximum du lest.	421,100	}
La résistance de l'eau à 2 atmosphères.		526,900
Différence en faveur de l'appareil.		285,800 kil.

Ainsi, à cette profondeur, on a 285,800 kilog. pour vaincre le frottement sur une surface latérale développée de 558 mètres carrés environ, ou 0^{k},051 par centimètre carré pendant les derniers moments du travail.

Après avoir laissé échapper l'air comprimé et quand l'eau est rentrée dans les puits, avant d'enlever les cloches pour ajouter des cylindres, ou de passer à la fondation d'une autre pile, on peut, en continuant de faire fonctionner les presses hydrauliques, les soumettre à la pression d'une charge plus considérable, celle de tout l'appareil, c'est-à-dire exercer sur eux une pression de 812,700 kilogrammes. Les puits supportent alors cette charge comme pilotis, et la surface tranchante de leur sabot étant de 4^{mc},4532, ils tendent à s'enfoncer sous une pression de 18^{k},2 par centimètre carré.

Dans ces conditions, la charge sur le sol à 21 mètres de profondeur sur la surface totale des trois puits, compris les enveloppes de 25^{mc},6590, serait de 10^{k},9 par centimètre carré, la superstructure du pont étant supposée de 1,500,000 kilogrammes, le poids des 541 mètres cubes de béton ou de maçonnerie des piliers de 1,190,200 kilogr., et celui des puits de 111,400 kilogr., en tout 2,801,600 kilogr. entre deux demi-arches.

Si l'on néglige la surface des puits pour ne considérer que celle de la maçonnerie qui est de 21^{mc},2058, on voit que la charge par centimètre carré ne dépasse point 13^{k},22 pour la même construction de 2,801,600 k.

Enfin, et si l'on imagine que la fondation soit faite dans un terrain tellement compressible et affouillable, que les puits déjà engagés dans le sol de 15 à 18 mètres, continuent à descendre sous la charge de 812,700 kilogrammes de l'appareil, il serait encore facile de battre au fond des puits, des pieux de 10 à 15 mètres, au moyen de sonnettes ordinaires ou à vapeur.

Les considérations qui précèdent semblent suffisamment prouver que, généralement un pont pourrait être fondé sur des piles à trois piliers, car on aura rarement à descendre aussi profondément dans le sol pour trouver le rocher ou un terrain incompressible, et, par suite de la diminution du poids des piliers, moins la fondation aura de hauteur, moins aussi la charge sur le sol sera considérable.

Déplacement de l'appareil. Lorsque la maçonnerie en pierre de taille sera terminée dans les puits jusqu'à l'étiage et même à 1 mètre au-dessus, on procédera au déplacement de l'appareil en levant les planchers demi-circulaires qui entourent les puits en dedans des bateaux, puis les cloches, qu'on déposera dans les réservoirs vides des deux bateaux portant la charpente; on détachera le bateau d'amont; on laissera dériver l'appareil sur ses amarres, jusqu'à ce que les puits soient dégagés de dessous la charpente; enfin on conduira à l'emplacement d'une autre pile ou d'une culée le système de bateaux, auquel on ajoutera celui d'amont pour être prêt à travailler de nouveau.

Fondation des culées. Pour la fondation des culées on aura dragué par

avance la rive, de manière à ce que l'appareil puisse en approcher suffisamment. Le travail d'excavation des puits s'effectuera sur l'une des extrémités de la charpente, en dehors des bateaux et en porte-à-faux. On rétablira le centre de gravité de l'appareil en fixant des amarres à la partie supérieure de la charpente, du côté de la rive, et en prenant des points d'appui sur des treuils attachés à la terre au moyen d'un nombre convenable de pieux à vis entrés dans le sol sous un angle de 45°, en sens inverse de l'effort de traction des amarres.

Maçonnerie des piliers. Lorsque la maçonnerie devra être faite en béton, pour accélérer les travaux; au lieu d'introduire les matériaux par les sas à air et de les descendre ensuite aux ouvriers travaillant aux piliers, on pourra employer deux moyens permettant de disposer de l'appareil pour l'excavation d'une autre pile.

Le premier procédé consiste à s'opposer à l'entrée des eaux par le dessous des puits au moyen de quelques mètres de mortier ou ciment très-hydraulique pilonné avec soin au fond de chaque puits, sous l'action de l'air comprimé, à dériver l'appareil, à surélever au moyen de ce dernier chacun des puits d'un ou plusieurs cylindres pour s'opposer à l'envahissement de l'eau des crues et à travailler enfin à ciel ouvert dans les puits, ceux-ci formant alors de véritables enceintes étanches.

Le second moyen impraticable pour la maçonnerie en pierres de taille, mais plus expéditif que le précédent pour celle en béton, consiste à déplacer l'appareil immédiatement après le travail d'excavation, à ajouter des cylindres contre l'eau des crues, et à couler le béton sous l'eau dormante des puits au moyen de caisses à fond mobile selon les procédés ordinaires.

Démontage de l'appareil. Après la fondation des piles et culées, on devra procéder au démontage définitif de l'appareil soit pour le laisser au repos, soit pour le remorquer par ses propres machines sur le lieu d'une autre construction.

Les cloches seront déposées par les treuils des travées sur les bateaux de la charpente, une sur l'un et deux sur le second, reposant chacune sur le fond d'un réservoir vide. On démontera ensuite la conduite d'air comprimé et celle de l'eau des presses hydrauliques, puis on passera aux treuils et à la charpente, dont toutes les pièces repérées sont réparties sur les 4 bateaux, en sorte que chacun d'eux soit chargé uniformément de 70,050 kilogr. On déboulonnera le bateau d'amont et celui des machines en aval, on détachera les machines de compression, et, l'hélice étant embrayée sur les volants, on sera prêt à partir. La largeur des bateaux, 4m,90, permet de passer d'une rivière sur une autre par les canaux; il en est de même à l'égard de la flottaison, chaque bateau ayant 58mc,9500 de surface et pesant chargé 70,050 kilogrammes, le tirant d'eau sera de 1m,188, hauteur correspondant au diamètre de l'hélice.

Dans le cas de navigation sur une rivière à faible tirant d'eau, on pourra allégir les bateaux de tout le poids des cloches et de la charpente qu'on transporterait dans ce cas sur des chalands ordinaires. La flottaison du bateau des machines, ses chaudières vidées, serait réduite à $0^m,70$ et celle des bateaux-réservoirs, si cela était nécessaire, à $0^m,46$.

Description du système de fondation des ponts au moyen d'un appareil à un puits. L'appareil à trois puits dont on vient de voir la description offrirait de nombreuses ressources dans les travaux hydrauliques et surtout l'avantage d'une extrême rapidité pour l'exécution d'un grand travail comme celui de la fondation d'un pont, mais dans les cas ordinaires son emploi présenterait les inconvénients inhérents à sa grande dimension.

Ces inconvénients, qui tiennent à l'étendue du travail qu'on embrasse en une fois, disparaissent si on limite l'opération à l'enfoncement d'un seul pilier; la durée du travail n'est pas d'ailleurs aussi longue qu'on peut le supposer, et il y a économie notable dans le prix de revient de fondation. Tel est le résultat que nous nous sommes proposé d'atteindre dans l'appareil à un puits; appareil qui n'est d'ailleurs qu'une modification du premier et qui complète le système de fondation de ponts par piliers tubulaires.

Ensemble de l'appareil. Cet appareil se compose d'un bateau formé de 2 parties séparées pouvant se réunir l'une à l'autre de deux manières différentes, ou autrement dit, de deux bateaux qui, étant assemblés tantôt par un bout, tantôt par l'autre, n'en représentent qu'un seul de 25 mètres de longueur et de $4^m,27$ de largeur.

La première partie du bateau, de forme rectangulaire, porte deux réservoirs et contient les chaudières, la machine et l'hélice. Les tôles des côtés de cette partie du bateau, fortement consolidées par une armature, se prolongent à l'arrière de l'hélice de manière à former un espace libre au-dessus de l'eau, destiné au travail des puits. Sur les deux prolongements de l'arrière de cette première partie du bateau est établie la charpente qui reçoit les treuils pour le service de la tête de puits et des cylindres.

La seconde partie du bateau, terminée d'un côté par un avant curviligne et de l'autre par une surface droite, se compose de trois réservoirs dans l'un desquels on dépose la tête de puits lors du transport de l'appareil. Cette seconde partie du bateau peut se fixer à la première, soit du côté des chaudières lorsqu'il s'agit de fonder les culées ou de travailler au bord de l'eau, soit du côté des flancs de l'hélice et de la charpente quand il devient nécessaire de travailler dans le milieu du bateau comme pour fonder une pile.

Lorsque le bateau est remorqué par sa machine ou qu'il travaille en bout, la charpente est à l'arrière, supportée par les prolongements des flancs du bateau de la machine, au-dessus du niveau de l'eau; la seconde partie du bateau est boulonnée près des chaudières et de la cheminée.

Quand, au contraire, on travaille dans le milieu du bateau, la cheminée est à l'arrière, la charpente dans le milieu, et l'avant du bateau est adapté aux prolongements de l'arrière de l'hélice qui entourent le puits et supportent la charpente.

Arrière du bateau. L'arrière du bateau, de forme rectangulaire, présente une longueur de $14^m,50$, y compris les prolongements de l'arrière de l'hélice. La partie occupée par les chaudières, la machine et l'hélice est divisée verticalement en quatre compartiments inégaux, et horizontalement en deux étages à l'exception de celui de la machine et de celui où passe la cheminée des chaudières. L'étage inférieur ou cale a deux mètres de hauteur, et les réservoirs au nombre de deux, situés au-dessus, ont chacun $2^m,25$ de hauteur et $4^m,27$ de largeur.

Le premier compartiment de 4 mètres contient l'hélice dans la cale et un réservoir au-dessus; le second est affecté à la machine et au chauffage des chaudières, il a 2 mètres de longueur et $4^m,25$ de hauteur; le jour vient du dessous du bateau. Le troisième compartiment contient les chaudières dans la cale, sur les côtés du bateau, au milieu une soute à charbon et au-dessus un réservoir de $3^m,50$ de longueur. Le quatrième compartiment est occupé par la boîte à fumée des chaudières, par la cheminée et par l'écoutille de la soute à charbon, sa longueur est d'un mètre. On peut y descendre pour boulonner les deux parties du bateau.

Les prolongements en tôle de l'arrière du bateau, ou appendices au-dessus de l'hélice, ont 4 mètres de long, $3^m,75$ de haut et $0^m,05$ d'épaisseur; ils portent en dedans et sur leur hauteur des gaînes obliques destinées à tenir les poteaux de la charpente, et au niveau du fond des réservoirs un plancher percé d'une ouverture circulaire de $3^m,30$ de diamètre pour le passage du puits. La moitié de ce plancher est fixe et l'autre moitié se lève à deux battants.

La charpente se compose de six poteaux de $0^m,25$ d'équarrissage, fixés sur les prolongements en tôle de l'arrière du bateau; les deux du milieu sont à centre à leur base et peuvent se dresser au moyen d'un engrenage et d'un pignon avant d'être boulonnés à leur place, les quatre autres forment les angles de l'espace compris entre les prolongements des bateaux et sont attachés dans des gaînes obliques; trois rangs de moises longitudinales en bois et tôle et trois moises transversales relient les poteaux entre eux, et donnent à l'ensemble de la charpente l'aspect d'une grue. La tête des puits fonctionne dans la travée de cette charpente.

La conduite d'eau passe sous le plancher de l'étage qu'elle traverse pour se rendre dans chaque réservoir où elle débouche par un robinet vanne. Des tampons permettent de vider les réservoirs.

Les tuyaux d'air comprimé et des presses hydrauliques circulent aussi sous le plancher du réservoir au-dessus de l'hélice, débouchent dans un des angles de l'espace formé par les prolongements en tôle et montent à la tête des puits le long d'un des poteaux du milieu.

Quant à la machine à vapeur, sa manière de fonctionner est semblable à celle de l'appareil à trois puits, c'est-à-dire qu'elle fournit l'air comprimé dans le puits, l'eau de condensation aux réservoirs-contre-poids et l'eau d'injection des presses hydrauliques, et qu'elle fait mouvoir une hélice pour la propulsion du bateau. Cette machine, de la force de quinze chevaux, est fournie de vapeur par deux chaudières de la même disposition que dans le grand appareil; elle occupe l'axe du bateau et est placée en travers, ce qui simplifie la communication du mouvement à l'hélice.

Deux poutres de 11 mètres de long, de 2m,50 de hauteur et de 0m,01 d'épaisseur, formées de plaques en tôle, sont disposées extérieurement sur les côtés du bateau d'arrière, de manière à glisser sur des galets et à réunir l'avant et l'arrière du bateau, lorsqu'on fonde les trois piliers d'une pile en travaillant par le milieu du bateau et dans le sens du courant. Ces poutres servent, en outre, à réunir les deux parties du bateau dans les deux positions qu'elles peuvent occuper, ainsi qu'on l'a vu, et à prendre un point d'appui sur le sol dans le travail des culées.

Avant du bateau. La seconde partie du bateau qui en forme l'avant dans l'état ordinaire, a 10m,50 de longueur et est divisée en trois compartiments et en deux étages de même hauteur que ceux de l'arrière. Elle porte trois réservoirs, deux ont 4 mètres de longueur, et le troisième, sur la proue, a 2m,50 de longueur.

Le poids total du bateau est de 80,500 kilogrammes. La capacité des réservoirs du bateau d'arrière est de 63mcc,75, celle des réservoirs du bateau d'avant 80mcc,75, ensemble 144 mètres cubes 500 décimètres cubes ou 144,500 kilogrammes, contre-poids suffisant pour descendre à 21 mètres au-dessous de l'eau.

Travail par bout du bateau. Pour la fondation des culées on amènera l'arrière du bateau en travers du courant, de manière à ce que l'endroit où l'on veut travailler se trouve entre les deux prolongements ou appendices d'arrière; on fera glisser les poutres de tôle sur leurs galets et on les fixera au bateau d'un côté avec des boulons, et de l'autre à des pieux fichés ou vissés dans la terre ferme. On lèvera ensuite les deux poteaux du milieu des appendices qui sont à tourillon et couchés sur les bords du bateau, on opérera cette manœuvre au moyen d'une manivelle faisant tourner un pignon engrenant sur un quart de cercle fixé à chacun des poteaux, comme on ouvre les portes d'écluses. Ces poteaux étant levés, on les boulonnera sur les appendices et on s'en servira pour mettre en place, au moyen de moufles, les quatre poutres obliques et les moises de la charpente. On hissera ensuite un des gros treuils sur le chemin de fer de la troisième rangée de moises avec lequel on soulèvera la tête de puits déposée dans le réservoir au-dessus de l'hélice. La tête de puits sera transportée à l'extrémité opposée du rail afin que le second treuil, hissé et monté à son tour, puisse venir poser les cylindres en bois de chêne

sur l'emplacement du travail. Ensuite on amènera la tête de puits sur les cylindres dont la construction pourra s'effectuer ou sur le pont du bateau à la place qu'occupait la tête de puits, ou sur un plancher établi en travers des deux poutres de tôle fixées à la terre par des pieux ainsi qu'il a été dit.

Lorsqu'un cylindre sera enfoncé, on reculera le bateau en faisant glisser les poutres de tôle, toujours attachées par une de leurs extrémités aux pieux du rivage jusqu'à la place d'un second puits, on boulonnera de nouveau et on continuera le travail. Si les poutres n'ont pas assez de longueur pour atteindre les pieux, on les fixera au puits précédent et on fondera le suivant pendant qu'on pourra travailler à ciel ouvert dans le premier.

Cette méthode d'exécution permettrait de supprimer l'avant du bateau dont le poids deviendrait inutile, puisqu'une partie de la charge serait reportée sur le sol; la longueur de l'appareil en travers du courant serait alors réduite à 14^m,50, dimension qui ne peut gêner dans aucune circonstance.

Lorsque l'appareil est employé comme cloche à plongeur, on peut avoir à travailler par bout; dans ce but, les appendices de l'arrière sont au-dessus de la flottaison du bateau, de manière à laisser descendre la cloche et à commencer le travail au niveau de l'eau, s'il est nécessaire, comme cela aurait lieu pour la démolition d'une pile de pont ou de tout autre travail à fleur d'eau.

Travail au milieu du bateau. Pour la fondation d'une pile les parties du bateau seront assemblées en sens inverse du cas précédent, c'est-à-dire que l'avant, au lieu d'être fixé du côté des chaudières, sera boulonné du côté des appendices de l'arrière au moyen des poutres en tôle qui l'en écarteront plus ou moins, suivant l'emplacement du puits à fonder; ainsi pour le premier puits l'avant touchera les appendices, tandis que pour le troisième il sera fixé à l'extrémité des poutres qui dépasseront de 9 mètres l'arrière du bateau.

Le montage de la charpente, des cylindres et de la tête de puits se fera, comme il a été dit ci-dessus, après que l'appareil aura été amarré sur l'emplacement voulu au moyen de quatre treuils situés sur le pont du bateau.

Si l'on fonde une pile par piliers, on fera glisser l'appareil de la quantité nécessaire à l'écartement des piliers et on en recommencera un autre après avoir boulonné les deux parties du bateau sur les poutres en tôle; ce mode d'exécution ne pourrait s'appliquer à plus de trois piliers, car pour obtenir ce résultat les poutres de tôle ont 11 mètres de longueur, mais en remontant l'appareil comme pour travailler par bout et en fixant les poutres de tôle sur les piliers déjà enfoncés, on pourrait faire une suite indéfinie de piliers coïncidant pour ainsi dire entre eux s'il était nécessaire.

Dans tous les cas, hors le travail par bout, il faudra séparer les deux parties du bateau pour dégager les piliers fondés.

Il faudra de même, chaque fois qu'on assemblera les parties du bateau, raccorder la conduite d'eau des réservoirs et ajouter une longueur de tuyaux dans le cas où les deux parties seront espacées comme pour fonder trois piliers. Quant aux tuyaux d'air comprimé et d'eau des presses hydrauliques, ils sont compris en entier dans la partie d'arrière et par conséquent n'exigent aucune précaution spéciale, si ce n'est qu'il faut les séparer de la tête de puits à chaque addition d'un cylindre comme dans l'appareil à trois puits.

Comparaison des prix d'établissement des puits en bois de chêne avec ceux des puits en tôle.

Prix des cylindres de puits de 3 mètres de hauteur et 3 mètres de diamètre intérieur. (Partie abandonnée sous l'eau.)

CYLINDRES EN BOIS DE CHÊNE.

Cylindre à sabot.			
Bois de chêne en douvelles de $0^{m},15$ sur $0^{m},16$ et 3 mètres de longueur	$4^{m},15$ à 100	415 »	
Fers, cornières, fers plats, boulons et attaches	375^{k} à 60	225 »	
Fonte du sabot, transport compris	1820^{k} à 40	728 »	1368 »
Prix d'un cylindre à sabot			1368 »
Cylindre ordinaire.			
Bois de chêne travaillé comme ci-dessus	$4^{m},45$ à 100	445 »	
Fers, prix moyen, cornières à 40 fr., boulons à 80 fr.	588^{k} à 60	352 »	797 »
Prix d'un cylindre ordinaire			797 »
Cylindre en tôle.			
Tôle de $0^{m},005$ d'épaisseur	1550^{k} à 80	1240 »	
Cornières ou sabot	300^{k} à 60	180 »	
Boulons 24		5 »	1425 »
Prix d'un cylindre en tôle			1425 »

Prix des puits d'une pile de pont à trois piliers, à diverses profondeurs au-dessous de l'eau.

Profondeur	Cylindres	Prix
Puits en bois de chêne.		
à 3 mètres au-dessous de l'eau.	3 cylindres	4104 »
à 6 —	6 —	6945 »
à 9 —	9 —	8886 »
à 12 —	12 —	11277 »
à 15 —	15 —	13638 »
à 18 —	18 —	16059 »
à 21 —	21 —	18450 »
Puits en tôle.		
à 3 mètres au-dessous de l'eau.	3 cylindres	4725 »
à 6 —	6 —	8550 »
à 9 —	9 —	12825 »
à 12 —	12 —	17100 »
à 15 —	15 —	21375 »
à 18 —	18 —	25650 »
à 21 —	21 —	29925 »

On voit par la comparaison des prix des cylindres en bois de chêne, avec ceux des cylindres en tôle, qu'il y a avantage sous tous les rapports à employer les premiers ; leur construction est moins coûteuse, le montage en est facile à cause de la division des pièces, et de plus le chêne résiste indéfiniment sous l'eau.

Prix d'établissement de l'appareil à 3 puits.

Désignation	Quantité	Prix	Montant	Total
Bateaux réservoirs.				
Un Bateau.				
Tôle	14217^k	18732^k à 85 fr.	15922 fr.	
Fers	4515			
Bois travaillé	$13^m,9$	à 120	1668	
Prix d'un bateau			17590	
Prix de 3 bateaux réservoirs				52770 »
Bateau des machines.				
Tôle	15644^k	19892^k à 85 fr.	16908 fr.	
Fers	4248			
Bois travaillé	$13^m,9$	à 120 fr.	1668	
Prix du bateau des machines				18576 »
Plancher autour des puits.				
Bois travaillé	2 mètres	à 120 fr.		240 »
Tuyaux, robinets, vannes et tampons.				
Tôle de fer, fonte et cuivre.	1620 kil.	à 2 fr. 50 c.		4050 »
Charpente.				
Bois sapin équarri travaillé	148 mètres	à 60 fr.	7400 fr.	
Fers, boulons	1085 kilog.	à 85	922	
Rails	1705	à 40	682	
Prix de la charpente				9004 »
Tête des puits.				
Tôle	1950^k	3459^k à 85 fr.	2940 fr.	
Fers	1509			
Fonte de 2 presses hydrauliques	10459	à 70	7321	
Treuil intérieur et chaîne	375	à 100	375	
Bois	$0^m,60$	à 120	72	
Bronze	99^k	à 250	247	
Prix d'une tête de puits			10955	
Prix de trois têtes de puits				32865 »
Tuyaux d'air des presses, siphon et robinets.				
Pour les trois têtes des puits	335^k	à 4 fr.		1340 »
Bennes d'extraction.				
Neuf bennes en tôle et en fer pour 3 puits chaque 130 kilog. ; ensemble	1170 kil.	à 85 fr.		994 »
A reporter				119839 »

			Report.....	119839	»
Treuils de la charpente.					
Fers....................	1285k	2025k à 100 fr.	2025 fr.		
Fonte....................	740				
Bois....................	0m,25	à 120	30		
Prix d'un treuil..................			2055		
Prix de 6 grands treuils...........................				12330	»
Treuils sur les bateaux.					
Huit treuils sur les bateaux, ensemble.....		1260k à 150 fr............		1890	»
Chaudières.					
Deux chaudières de 20 chevaux chacune.					
Tôles, accessoires......	4900k,	ensemble 9800k à 130 fr...........		12740	»
Machines motrices et de compression.					
Deux machines de......	8000k,	ensemble 16000k à 200 fr...........		32000	»
Hélice en fonte et mouvement............		700k à 200 fr..........		1400	»
				180199	»
Imprévu..				4801	»
Prix de l'appareil à 3 puits...........................				185000	»

Dépenses par jour de 24 heures de travail d'excavation d'une pile à 3 piliers en employant l'appareil à 3 puits et pour un enfoncement de trois mètres dans le sol.

76mq,95 de matériaux à extraire en 24 heures correspondant en moyenne à la sortie de 4 bennes de 0m,30 par heure et par puits.

Main-d'œuvre d'excavation.

Deux équipes se relayant de 6 heures en 6 heures et composées chacune de :

18	terrassiers au fond des puits........	à 6 fr.		.....	108 fr.		
6	manœuvres aux têtes des puits......	à 3	50	.....	21	50	
6	manœuvres aux treuils sur la charpente	à 3		.....	18		
2	mariniers........................	à 4		.....	8		
1	mécanicien......................	à 7		.....	7		
1	aide-mécanicien..................	à 5		.....	5		
1	chauffeur........................	à 4		.....	4		
3	contre-maîtres...................	à 7		.....	21		
	2 équipes à...........				192	50..	385 »

Main-d'œuvre de montage des cylindres.

3	charpentiers.....................	à 6 fr.	....	18 fr.	
6	aide-charpentiers................	à 4	....	24	42 »

Combustible, graissage des machines et éclairage des puits.

Estimés sur la consommation moyenne d'une machine de 20 chevaux à 4 kil. par heure et par cheval pour 24 heures, 1920k à 40 fr........	76	80
Dépenses par 24 heures de travail....................	503	80

Prix d'établissement de l'appareil à un puits. Bateau en deux parties.

Paroi du bateau entier.

Tôle....................	24660k	30020k à	85 fr.	25517 fr.	
Fers....................	5360				
Bois travaillé..............	9mce,00		à 120	1080	
Armature en fonte à l'arrière...........		5040 à	50	2520	
Poutre de jonction en tôle..............		5500 à	85	4675	33792 »

Charpente.

Bois travaillé équarri..................	5m,24 à	70	366	
Fers, boulons, rails....................	1430k à	85	1215	1581 »

Treuils de la charpente.

Deux treuils comme ceux de l'appareil à trois puits 2055 fr.............	4110 »

Treuils sur le bateau.

Quatre treuils comme ceux de l'appareil à trois puits, ensemble.......................... 630k à 150 fr............	950 »

Tête de puits.

Comme celles de l'appareil à 3 puits..................................					10955 »
Tuyaux d'eau, d'air et des presses.	220k	330k à	2 fr. 50	825 fr.	
Robinets vannes et tampons....	110k				
Siphon et tuyaux dans la tête de puits comme au grand appareil..................		110 à	4 fr.	440	1265 »

Bennes d'extraction.

Trois bennes comme au grand appareil, ensemble.......................... 390k à 85 fr.............	331 »

Machines.

Machines de 15 chevaux pour la compression de l'air et mouvement d'hélice.......... 10500k à 1 fr. 80.........	18900 »
	71884 »
Imprévu..	3116 »
Prix de l'appareil à un puits.............................	75000 »

Dépenses par jour de 24 heures de travail d'excavation d'un pilier en employant l'appareil à un puits et pour un enfoncement de trois mètres dans le sol.

25mce,75 de matériaux à extraire en 24 heures.

Main-d'œuvre d'excavation.

Deux équipes se relayant de 6 heures en 6 heures, et composées chacune de :

6 terrassiers dans le puits............	à 6 fr.	36 fr.	
2 manœuvres à la tête de puits........	à 3 50	7	
2 manœuvres aux treuils de la charpente	à 3	6	
1 marinier...........................		4	
1 mécanicien.........................		7	
1 chauffeur..........................		4	
1 contre-maître......................		7	
Deux équipes à.......		71 fr.....	142 »

Report..... 142 »

Main-d'œuvre de montage des cylindres.

1 charpentier...................... à 6 fr. .... 6 fr.
2 aides.......................... à 4 8

14 »

Combustible, graissage de la machine et éclairage des puits.

Estimés sur la consommation d'une machine de 8 chevaux à 4 kilog. par heure et par cheval, pour 24 heures. 770 kilog. à 40 fr.................. 31 »

Dépenses par 24 heures.............................. 187 »

Devis approximatif de la fondation d'un pont à quatre piles et deux culées établies à 9 mètres au-dessous de l'eau.

(Les piles composées de 3 piliers et les culées de 7 piliers chacune. Voir pl. 24, fig. 1.)

EMPLOI DE L'APPAREIL A TROIS PUITS.

Montage de l'appareil............ 2 jours.................... 1000 »

Fondation de chaque pile. Puits des 3 piliers de 9m.. 8886 fr.
Travail d'excavation............ 3 jours à 500 fr. 1500
Déplacement de l'appareil........ 1 jour......... 500

Pour 4 piles (4 fois 4 jours ou 16 jours), 4 fois.. 10886 fr. ou 43544 fr.

Fondation de chaque culée. Puits des 7 piliers de 9m. 20734
Travail d'excavation, 12 jours à 500 francs....... 6000

Pour 2 culées (2 fois 12 jours ou 24 jours), 2 fois... 26734 fr. ou 53468 fr. 97012 »

Démontage de l'appareil........ 2 jours...................... 1000 »

Travail d'excavation, durée 44 jours.............. Prix............... 99012 »

Maçonnerie en béton.

Chaque pile 191mcc,00............. à 18 fr........ 3438 fr.
Pour 4 piles, ensemble 764mcc...................... 13752 fr.
Chaque culée 448mcc,00........... à 18 fr......... 8064 fr.
Pour 2 culées, ensemble 896mcc,00................ 16128 fr.

Maçonnerie 1660 mètres cubes............ Prix............ 29880 »

Main-d'œuvre et maçonnerie....................... 128892 »

Travaux accessoires comprenant draguage des culées, travaux des ailes, enrochements, échafauds de maçonnerie des puits, travaux de navigation, indemnités.. 18108 »

Frais de déplacement de l'appareil et garde annuelle........ 6000 fr.
Intérêt, amortissement et entretien de l'appareil à 20 p. 100 sur 185000 francs................................ 37000 fr. 43000 »

Prix de revient.................................. 190000 »

EMPLOI DE L'APPAREIL A UN PUITS.

Montage de l'appareil.............. 1 jour..................		151 »
Fondation de chaque pile. Puits des 3 piliers de 9^m.	8886 fr.	
Travail d'excavation, 9 jours.......... à 187 fr.	1683	
Déplacement de l'appareil 1 jour...............	151	
Pour 4 piles (4 fois 10 jours ou 40 jours) 4 fois....	10720 ou 42880 fr.	
Fondation de chaque culée. Puits des 7 piliers de 9^m.	20734 fr.	
Travail d'excavation, 21 jours......... à 187 fr.	3927	
Déplacement de l'appareil, 2 jours...... à 151 ..	302	
Pour 2 culées (2 fois 23 jours ou 46 jours) 4 fois...	24963 fr. ou 49926 fr.	92806 »
Démontage de l'appareil................ 1 jour..............		151 »
Travail d'excavation, durée 88 jours................. Prix...........		93108 »
Maçonnerie en béton.		
Comme d'autre part (page 246)......................		29880 »
Main-d'œuvre et maçonnerie..........................		122988 »
Travaux accessoires comprenant draguage des culées, travaux des ailes, enrochements, échafauds de maçonnerie des puits, travaux de navigation, indemnités..		18108 »
Frais de déplacement de l'appareil et garde annuelle........	3004 fr.	
Intérêt, amortissement et entretien de l'appareil à 20 p. 100 sur 75000 fr.......................................	15000	18004 »
Prix de revient..........................		159100 »

Il ressort de l'exemple précédent de fondations de puits par les deux appareils, abstraction faite des sommes qui peuvent varier, mais qui restent proportionnelles, que l'emploi de l'appareil à un puits est plus avantageux que l'appareil à trois puits.

En effet, dans le premier, la durée du travail d'excavation est de 88 jours et le prix de 93,000 francs.

Dans le second la durée est de 44 jours et le prix de 99,000 francs.

Le temps est double, c'est-à-dire d'un mois et demi de plus il est vrai, mais cela ne paraît pas être un inconvénient sérieux, car on peut commencer le travail en toute saison, et l'économie sur le prix du travail, comme on le voit, tient essentiellement à la différence du capital engagé.

Comme dernière considération, il résulte qu'il y aurait intérêt à employer, pour la construction d'un pont, plutôt deux appareils à un puits qu'un seul appareil à trois puits.

Modifications à l'appareil à un puits et à plusieurs bateaux.

La première disposition d'appareil a été indiquée dans la description précédente.

La seconde disposition représentée n'est autre chose qu'une réduction des bateaux du grand appareil à trois puits qui n'ont que 10 mètres de long, 3 mètres de large et 3 mètres de profondeur, et qui sont divisés en deux étages de 1m,50 chacun, ce qui donne un cube de 45 mètres par bateau ou 135 mètres cubes pour les trois, ou encore 135,000 kilog. d'eau pour contre-poids contenus dans 12 réservoirs ou 3 par bateau, dont les deux extrêmes ont 3 mètres de longueur et celui du milieu 4 mètres.

Dans l'appareil à trois puits, l'eau fait à peu près la moitié du poids total; il fait un peu moins dans celui-ci, mais cela se trouve compensé par le poids de la charpente qui est presque moitié de celui du grand appareil, au lieu d'en être le tiers, et par le plus grand poids des bateaux par rapport à l'appareil. Le montage et la manœuvre sont d'ailleurs les mêmes, seulement on pourrait remplacer les machines à vapeur par des locomobiles de 14 chevaux de force totale placées sur le pont des bateaux.

La troisième disposition diffère de la seconde en ce que l'appareil n'est composé que de deux bateaux proprement dits et de deux caisses réservoirs complétant le quadrilatère.

Les deux bateaux proprement dits ont, ainsi que ceux de l'appareil précédent, 10 mètres de long et 3 mètres de hauteur et sont divisés en deux étages de 1m,50, mais ils ont 4 mètres de large, ce qui donne 60 mètres cubes répartis dans trois réservoirs dont les extrêmes ont 3 mètres de long et l'intermédiaire 4 mètres. Les caisses réservoirs ont 3 mètres de large, 3m,20 de long et 3 mètres de hauteur en deux étages de 1m,50, ce qui donne 14mcc,4 par caisse, et pour poids total d'eau $60\,000^k + 14\,400^k \times 2 = 148\,800$ kilogrammes ou un peu plus que dans l'appareil précédent; mais il est à remarquer que la charpente se trouve un peu réduite et le poids des bateaux sensiblement diminué.

Ce qui caractérise cet appareil, c'est que le quadrilatère formé par les bateaux se trouve très-réduit et que les quatre poteaux du milieu, se trouvant fixés dans les caisses-réservoirs au lieu d'être en porte-à-faux, rendent ces dernières solidaires du système et en augmentent la solidité et la stabilité. Le montage et la manœuvre sont d'ailleurs analogues à ceux de l'appareil précédent et les machines disposées de la même manière.

Avantages et inconvénients des deux dispositions ci-dessus.

Les appareils qui viennent d'être décrits peuvent travailler tous deux par le milieu et par bout, ainsi que le montrent les figures ponctuées pl. 24, fig. 9 et 10.

Quand on travaillera par milieu les lests devront être complets; c'est-à-dire que les réservoirs seront tous occupés par l'eau, introduite en quantité suffisante pour opérer l'enfoncement. Quand, au contraire, on travaillera par bout, les réservoirs ne seront remplis qu'à moitié au plus, car le point d'appui sur le sol étant à l'une des extrémités, l'ensemble du système agit par son poids comme levier: dans ce cas, la seconde disposition d'appareil offre l'avantage d'approcher d'un mètre plus près de la berge, les bateaux n'ayant que 3 mètres au lieu de 4 de largeur. Cet appareil a été représenté comme pouvant travailler en bout des deux côtés; il va sans dire qu'on peut le disposer comme le troisième, de manière à ne travailler que par un seul bout.

La troisième disposition d'appareil à un puits a sur la seconde l'avantage de tenir un tiers moins de place et surtout de ne faire qu'un seul tout extrêmement rigide et par conséquent de mieux résister à la déformation et au courant, en offrant à celui-ci une surface d'action beaucoup moindre.

Ces deux dispositions rempliraient du reste le but qu'on se propose comme fondations de piles et de culées, mais elles ne présentent point les ressources qu'on peut évidemment attendre de la première disposition d'appareil à un puits et à un seul bateau, qui a besoin, il est vrai, d'être perfectionnée, bien que le bateau n'ait pas l'inconvénient de fléchir à cause de sa grande longueur (22 mètres), car dans le travail par bout, une partie seulement du bateau est employée concurremment avec des amarres prises sur le sol ou sur le pilier précédemment fondé.

Fondations dans les terrains tourbeux et marécageux, dans les fondrières et sables boulants.

Il nous a paru qu'il y avait trois moyens principaux de parvenir à fonder les piliers tubulaires dans ces terrains. Le premier consisterait à établir les contre-poids, à sec, sur un radier ou plate-forme en fascines et en charpente. Ce procédé serait applicable pour les marais tourbeux dont la surface serait sèche ou à peu près (pl. 24, fig.2).

La densité de la tourbe sèche étant de 0,444 à 0,514 et celle de la tourbe humide de 0,785, ce qui est le cas des marais, le procédé ci-dessus serait peu praticable dans les marais ou fondrières humides; il demanderait une surface considérable, environ 2 000 mètres carrés de radier pour l'appareil à trois puits. On aurait alors recours au second moyen de fondations consistant également en un radier de charpente et de planchers, mais construit en dos d'âne; on établirait ce radier en intercalant de la toile goudronnée entre les planchers pour s'opposer à la pénétration de la tourbe boueuse et même de l'eau à travers les interstices, on pourrait même, dans certains cas, ajouter un encaissement inférieur faisant corps avec le radier pour s'opposer plus efficacement au refoule-

ment latéral du sol boueux : cet encaissement garni en toile goudronnée permettrait au besoin de refouler de l'air comprimé sous le radeau général, pour le soulever en partie. Le dessus du radeau serait naturellement racheté de niveau à la place que devraient occuper les réservoirs du contre-poids d'eau. (pl. 24, fig. 3.)

Il est certain que ce procédé permettrait de fonder dans les marais, mais il demande encore une surface de 1 066 mètres carrés pour supporter les 800 000 kilogrammes de l'appareil à trois puits, en supposant que l'encaissement pût s'enfoncer d'un mètre.

Comme il suffit le plus souvent de creuser ces marais pour y former des fossés, on aurait avantage à employer le troisième moyen dans le cas où le terrain serait tellement mobile que l'enfoncement de la sonde ou des pieux ferait exhausser le sol.

Deux cadres en charpente (pl. 24, fig. 4) A A' et B, portant un clayonnage vertical C de 4 mètres pratiqué sur des rondins de 10 à 15 centimètres de diamètre et formant une enceinte assez grande pour contenir les bateaux de l'appareil, soit environ 22 mètres sur 33 mètres, seraient posés sur le sol; on en creuserait l'intérieur de manière à les faire enfoncer, ils seraient retenus fixés par des pieux à larges vis extérieurement à l'enceinte qui les empêcheraient de remonter : le fond, à l'exception de la place des puits, serait garni de claies qu'on maintiendrait au moyen de traverses en bois reliées avec le cadre inférieur B, puis on viendrait mettre sur ces claies une couche de cailloutis ou de gravier, suffisante pour empêcher le système d'être soulevé. Cette espèce de bassin, s'emplissant d'eau, permettrait d'y établir l'appareil de fondations à un ou trois puits pour y travailler comme sur rivière. Pour passer d'une pile à une autre, on pratiquerait un canal soutenu ou non sur les côtés par un clayonnage, assez large et profond pour y faire circuler les bateaux de l'appareil d'un bassin dans un autre. On évitera ainsi par ce troisième procédé, qui devrait être préféré toutes les fois qu'on rencontrera l'eau, les frais de démontage, de transport et de remontage des engins et apparaux indispensables quand on emploie les deux premiers moyens pour chaque pile.

On peut concevoir diverses dispositions résultant des trois systèmes précédents, et parmi leur nombre nous pensons que les plus simples consisteraient à employer :

1° Dans le cas de terrains suffisamment résistants pour supporter le poids de l'appareil sans enfoncer même de plus de quelques décimètres, une caisse rectangulaire unique, remplaçant les bateaux réservoirs de l'appareil de fondation, caisse rendue étanche au moyen d'une toile goudronnée sur laquelle serait établie la charpente des cloches. Cette caisse formant le contre-poids, ou pour mieux dire dans ce cas, le point d'appui, se remplirait d'eau ou de sable, ne devant jamais quitter le sol; c'est sur elle que s'exercerait l'action des presses hydrauliques contre-balançant l'effort de

soulèvement des puits dont l'excavation s'opérerait par le centre de gravité, dans un espace ménagé à cet effet à la manière de l'appareil à trois puits.

2° Dans les terrains marécageux et tourbeux, toutes les fois qu'on rencontrerait de l'eau, on emploierait l'appareil ordinaire, et à cet effet on creuserait simplement des bassins dans le sol, et on réunirait les bassins de chaque pile par un canal permettant de faire passer de l'un à l'autre les bateaux et de travailler avec deux appareils.

Il résulte de ce qui vient d'être dit que les deux dispositions ou systèmes indiqués, semblent devoir répondre aux exigences de fondation dans les terrains mouvants, en considération de la simplicité relative des frais d'installation et des manœuvres.

Travaux à la mer.

Les appareils que nous venons de décrire nous paraissent de nature à pouvoir se prêter aux travaux de ports et jetées.

Sans prétendre indiquer des dispositions spéciales, nous croyons qu'on peut concevoir facilement un système d'appareils économiques, utilisant les presses hydrauliques et l'eau comme lest, disposé de telle sorte que partant de la terre ferme et par l'enfoncement successif des pieux recouverts en maçonnerie ou en métal, on parvienne à avancer une jetée en mer, comme aussi à fonder des murs de quai par une disposition d'appareils fonctionnant les uns à côté des autres et prenant leur point d'appui sur le sol.

Les communications si nombreuses et si intéressantes que notre société doit, à l'honorable M. Vuigner, sur les travaux de fondations du pont de Kehl, nous font exprimer ici, en terminant, le désir bien légitime de voir communiquer à la société les différents incidents qui ont pu se produire; et la marche qu'ont suivie les travaux dans l'application toute récente de nos procédés à la construction des fondations des ponts de Lora en Espagne, et de Bordeaux sur le chemin du Midi.

Observation sur l'emploi de l'eau comme contre-poids.

Nous joignons à ce mémoire les dessins de l'appareil à trois puits et à unpuits (pl. 24, fig. 8, 9 et 10), ainsi que celui des premières dispositions de cloches soumises par nous en 1850 à M. Ch. Poiré, ingénieur en chef des ponts et chaussées, pour la démolition des piles en rivière à l'occasion du Pont-au-Double et du pont Saint-Michel à Paris (fig. 6 et 7). C'est à cette époque que nous proposâmes l'emploi de l'eau comme contre-poids dans des conditions différentes de celles qui constituent le contre-poids du bateau plongeur du Croisic, auquel M. Charles Nepveu se rapporte dans une note sur les fondations en rivière, pour dire que l'emploi de

l'eau comme lest pour produire l'immersion des cloches à plongeur n'est pas une idée nouvelle, que cette idée remonte à Coulomb, et que M. de la Gournerie en a fait l'application au Croisic, et le docteur Fagern au port de Cherbourg.

En effet, l'idée de Coulomb, qu'on retrouve d'ailleurs dans d'autres appareils sous-marins, est la reproduction des phénomènes qui s'accomplissent chez le poisson, lorsqu'il monte ou descend sans mouvement apparent. Mais de même que le poisson est constamment sous l'eau, et qu'il ne peut modifier sa densité que pour descendre à une plus grande profondeur ; de même l'emploi de l'eau dans le bateau du Croisic, n'a pour effet que de changer la densité de la cloche à plongeur, pour lui donner la faculté de descendre. Nous croyons qu'avant nos dispositions, on avait seulement pensé à utiliser l'eau pour faire échouer la cloche à plongeur, mais qu'on se servait nécessairement encore de fer ou de pierres pour former le lest ou contre-poids proprement dit, devant équilibrer la pression de l'air de la cloche. La cloche à plongeur du Croisic était entourée d'une chambre hermétique dans laquelle on pouvait à volonté laisser entrer l'eau pour obtenir son immersion à la profondeur de quelques mètres, ou chasser cette même eau par de l'air comprimé et faire ainsi flotter l'appareil. Dans nos projets de 1850, on voit que partant de la disposition du bateau du Croisic, nous employons immédiatement l'eau pour remplacer les pierres et le fer du contre-poids d'eau, le premier appareil devant avoir de grandes dimensions. Dès lors, l'application nouvelle de l'eau, comme contre-poids, ne consiste plus à produire l'immersion par l'eau, *au-dessous de l'eau*, mais à produire l'enfoncement dans le sol d'une cloche à plongeur ou d'un tube, en élevant l'eau destinée au contre-poids avec des pompes pour en remplir un réservoir situé *au-dessus du niveau de la rivière*, réservoir dont on augmente la hauteur au fur et à mesure que la cloche descend sur le sol. On conçoit les avantages pratiques qui peuvent être réalisés par l'application de l'eau comme contre-poids au-dessus de la cloche et au-dessus du niveau de la rivière, dans les cas analogues aux travaux du Croisic. Ces avantages et le caractère de nouveauté du contre-poids d'eau ressortent plus encore dans les projets d'appareils de fondations que nous venons de décrire. Nous pensons que si jusqu'à présent l'eau n'a pas encore été appliquée comme contre-poids dans les grands travaux de fondations pneumatiques, cette disposition pourra présenter de sérieux avantages bien qu'elle exige un matériel spécial.

Renseignements sur les travaux de fondations du pont de Bordeaux.

La première application de nos presses hydrauliques ayant été faite par la compagnie de matériels de chemins de fer, au pont de Lora en Espagne, et au pont de Bordeaux, M. Charles Nepveu, n'ayant fait connaître à

notre société aucun détail sur l'exécution des travaux, nous nous sommes adressés à l'obligeance de M. Surell, directeur général du chemin de fer du Midi, qui a bien voulu nous communiquer les rapports de M. Regnauld, ingénieur des ponts et chaussées, chargé de l'exécution des travaux, rapport dont nous extrayons les passages ayant trait aux fondations ainsi qu'une des vues des appareils (pl. 25, fig. 11).

Extrait des rapports de M. Regnauld, sur les travaux du pont métallique de Bordeaux.

(Pont métallique sur la Garonne.)

Ce pont forme l'ouvrage capital du raccordement.

La largeur à franchir est de 500 mètres, elle a été divisée en sept parties, dont cinq intermédiaires égales et deux extrêmes, mais plus petites, déterminées de manière que le travail du fer dans ces deux travées soit le même que dans les grandes, sans qu'il soit besoin d'augmenter les dimensions des poutres; les cinq travées centrales ont chacune 77m,056 de portée et les deux travées de rive ont 57m,56.

Les piles sont formées de deux tubes en fonte de 0m,04 d'épaisseur et de 3m,60 de diamètre; elles sont protégées par des flotteurs formant boucliers à l'égard des corps flottants pendant toutes les oscillations des marées; ces piles remplies en béton supportent des poutres métalliques distantes de 8m,18 et ayant une hauteur de 6m,55. Ces poutres sont reliées à leur partie supérieure par des contrevents et à leur partie inférieure par des pièces de pont qui soutiennent les deux voies.

Chaque poutre est composée haut et bas de feuilles de tôle de 0m,85 de largeur, assemblées par des cours de fortes cornières, de manière à former un auget, ce sont comme deux tuyaux carrés (forme très-résistante) reliées l'une à l'autre par un treillis composé de croix de St-André et de poteaux montants; les extrémités de ces poteaux et des croisillons sont rivées sur les parois latérales des augets, dont elles servent en même temps à consolider l'assemblage; l'épaisseur des tables supérieures et inférieures a été réglée dans la longueur selon les divers efforts auxquels elles devront résister; enfin le plancher repose sur les pièces de pont et les longerons, et la voie est formée de rails Brunel affleurant presque les madriers, en sorte qu'en cas de déraillement les wagons passeront sans chute sur le plancher.

Mode d'exécution des fondations.

Le travail à exécuter pour construire une colonne consiste à enfoncer un tube de fonte du poids de 120 tonnes environ jusqu'au terrain solide, à vider le mauvais terrain qui se trouve intérieurement, et à le remplacer par du béton de manière à constituer ainsi une maçonnerie de 26m,00 de hauteur, enveloppée de fonte et servant de point d'appui aux poutres métalliques.

Pour l'exécution, on convertit le tube lui-même en une véritable cloche à plongeur, et pour cela on y adapte deux plateaux en tôle destinés à le diviser en trois parties distinctes, la partie supérieure est en communication avec l'air libre. La partie centrale comprise entre les deux plateaux forme la chambre d'équilibre, enfin la partie inférieure constitue la véritable cloche dans laquelle les travailleurs doivent descendre.

La colonne ainsi mise en place, on refoule de l'air comprimé dans la cloche pour chasser l'eau au moyen d'un siphon, les travailleurs s'introduisent au moyen de l'écluse à air formée par la chambre d'équilibre; deux hommes descendent au fond du tube et enlèvent intérieurement les matériaux, de telle manière que la colonne descend comme une trousse coupante; ils chargent ainsi des bennes qui leur sont descendues à l'aide d'un treuil par six hommes placés dans la chambre d'équilibre. Ceux-ci reçoivent et donnent par un mouvement alternatif les bennes pleines et vides. On en remplit ainsi vingt-cinq par chaque éclusée; quand toutes les bennes pleines sont remontées dans la chambre d'équilibre, les hommes remontent aussi, on ferme le plateau inférieur et on ouvre le plateau supérieur pour vider dans la rivière les déblais qu'on vient d'extraire.

Tel est l'exposé succinct du travail de foncement proprement dit; on déblaye ainsi à peu près 1m,00 de hauteur dans les 24 heures, ce qui représente un cube de 10m,00, et permet, dans les circonstances où nous nous trouvons, de mener un tube à fond en huit fois 24 heures.

Dans le système de fondations tubulaires employé au pont de Bordeaux, on a introduit les perfectionnements suivants:

1° A partir du jour où on a commencé le foncement d'une des colonnes, l'eau ne reparaît plus, à moins d'accidents.

Dans les autres ponts exécutés à Rochester en Angleterre, à Mâcon et Moulins en France, sur la Theiss en Hongrie, chaque fois que l'on veut allonger la colonne au fur et à mesure de l'enfoncement, on est obligé de laisser rentrer l'eau, et avec cette eau, rentre une quantité considérable de terre qui augmente énormément le travail à faire.

Cela tient à ce que la chambre d'équilibre coiffe la partie supérieure de la colonne et que, lorsqu'on vient ajouter un anneau, il faut dé-

coiffer, intercaller son anneau, puis recoiffer pour continuer ainsi son travail.

Dans le système que nous employons, la chambre d'équilibre fermée par deux cloisons intérieures, ne gêne en rien l'addition des cylindres nouveaux, elle s'enfonce avec la colonne et n'est démontée qu'à la fin de l'opération pour être enlevée et portée à un autre tube.

Cette circonstance, nous le répétons, a une très-grande importance, car dans les ponts que nous avons cités précédemment, la rentrée de l'eau a forcé d'enlever un cube de terrain de déblai triple du cube réel; on a dû enlever quelquefois un volume quintuple, de telle sorte que dans nos tubes, au lieu de déblayer 80^{m},00, il eût fallu, dans ce cas, enlever 400 mètres cubes, et passer pour le foncement d'une colonne, 40 jours au lieu de 8 [1].

2° L'enfoncement se fait par l'action de presses hydrauliques au lieu de s'opérer comme au pont de la Theiss, notamment par la charge directe du contre-poids sur le tube et la diminution intérieure de pression.

Dans les ponts construits précédemment, quand on a déblayé le fond, et que les ouvriers sont sortis, on laisse échapper brusquement l'air comprimé, l'eau se précipite avec violence dans l'intérieur, en désagrégeant le terrain sous le tube, et toute la colonne chargée de son contre-poids tombe avec une grande vitesse d'une hauteur que l'on n'est pas maître de régler par avance. Des ruptures fréquentes, des déviations de tubes, et en tout cas une énorme perte de temps, en sont la conséquence.

Dans le système que nous employons, la pression nécessaire pour l'enfoncement, au lieu d'être exercée par un poids variable et directement fixé sur le tube, est transmise par l'intermédiaire de presses hydrauliques verticales, dont les tiges de piston sont réunies par des jougs de fer s'appliquant sur la partie supérieure du tube. Ces presses reposent sur des hauteurs en tôle chargées d'un contre-poids formé avec des rails et destiné à s'opposer au soulèvement.

On est ainsi complétement maître de la pression, on peut l'augmenter, la diminuer, la faire même complétement cesser, à un moment donné, selon les besoins, et pour cela il suffit de forcer, modérer ou arrêter entièrement l'introduction de l'eau faite dans le corps des presses à l'aide d'une locomobile.

L'enfoncement se fait ainsi d'une manière lente et progressive, nous avons pu exercer sur nos colonnes des efforts de 300,000 kilos qui eussent été impraticables avec le système des chargements directs.

Tels sont, indépendamment d'une quantié de détails particuliers que la pratique nous a fait imaginer, et dont la description ne peut prendre

1. Voir la Notice de M. Sezanne, ingénieur des ponts et chaussées. Nous faisons observer que l'emploi du siphon et des pompes de refoulement évite complétement, dans ce cas, la rentrée des matériaux dans les tubes.

place dans cette note, les traits principaux qui nous semblent caractériser l'exécution des fondations du pont métallique de Bordeaux.

Par ces moyens, nous avons déjà mis à fond six de nos colonnes sur douze, ce sont celles qui se trouvent du côté de la Bastide, et qui présentent le plus de difficultés; la profondeur à laquelle nous sommes descendus varie entre 20 et 21 mètres au-dessous de la haute mer, et entre 15 et 16 mètres au-dessous de l'étiage; à cette limite les hommes commencent à être incommodés dans les grandes chaleurs, l'insolation du tube, la compression de l'air, la respiration des hommes, la combustion des bougies, étaient autant de causes de fatigue; la température s'est élevée dans la cloche jusqu'à 46 degrés, et l'on a dû, pendant ce temps-là, faire reposer les hommes pendant 3 heures sur 12; toutefois depuis le commencement nous n'avons eu à déplorer aucun accident, et l'on n'a eu à constater que quelques douleurs rhumatismales ou paralysies locales momentanées.

Le déblai du tube étant terminé sur une profondeur de $2^{m},00$, dans le très-gros gravier sur lequel il repose, on remplit la colonne de béton en suivant la marche inverse de celle qui a été suivie dans la première période de l'opération, Le béton fait sur la berge est monté sur le pont dans des wagons et approché du tube, on le verse dans une caisse préparée dans la chambre d'équilibre, on ferme le plateau supérieur de la chambre, on ouvre le plateau inférieur, puis on laisse la caisse à béton se vider d'en haut dans l'air comprimé, deux hommes descendent en bas pour le damer pendant qu'on remplit la caisse à nouveau, et l'opération continue ainsi jour et nuit jusqu'à ce que le tube soit plein. Le remplissage se fait beaucoup plus rapidement que le déblai, car nous bétonnons $4^{m},05$ de hauteur par 24 heures.

Dans l'état actuel, le déblai demande 8 jours de délai, le bétonnage 6 jours et le transport des appareils d'un tube à l'autre 7 jours, en tout 21 jours moyennement pour une colonne, ou mieux 45 jours moyennement pour une pile complète dont la dépense s'élève approximativement à cent dix mille francs.

Bordeaux, le 31 août 1859.

DEUXIÈME EXTRAIT.

J'ai l'honneur de vous adresser ci-dessous les renseignements que vous demandez par dépêche télégraphique, relativement au pont que nous construisons à Bordeaux.

Ce pont forme l'ouvrage principal du raccordement du chemin du Midi avec le chemin d'Orléans ; la longueur à franchir est de 500 mètres divisée en sept travées, les cinq travées centrales ont chacune $77^m,056$ et les deux travées de rives ont $57^m,56$.

Les piles sont formées de deux tubes en fonte de $3^m,60$ de diamètre que l'on enfonce jusqu'au terrain solide et qui sont remplis de maçonnerie de béton ; enfin, sur chacun de ces tubes, reposent les deux poutres métalliques de $6^m,35$ de hauteur qui constituent le pont, et servent à supporter les pièces.

Sur douze colonnes que nous avions à établir pour former ces piles, dix sont terminées aujourd'hui, et les deux dernières que nous avons à faire seront achevées le 20 mai prochain.

Ces fondations ont présenté de grandes difficultés tant à cause de la profondeur à laquelle on rencontre le terrain solide, que par les marées exceptionnelles que nous avons eues cette année. Nous avons été obligés de descendre à 22 mètres au-dessous de l'eau.

La charpente métallique qui compose le pont et qui repose sur ces colonnes, pèse 3,000 tonnes environ; tous les fers sont rendus à Bordeaux; 2,500 tonnes au moins sont terminées à nos ateliers, et sur sept travées cinq sont mises en place et dégagées presque entièrement de leurs échafaudages, le tout pourra être terminé le 15 juin prochain; hier nous avons pu, pour la première fois, traverser la Garonne sans bateau en passant sur la partie terminée du pont et sur l'échafaudage qui rejoint maintenant la culée du pont du côté de Bordeaux.

Quant aux travaux des abords qui consistent en terrassements et murs de soutènement, nous avons la certitude qu'ils seront prêts, à l'époque du 15 juin précitée, c'est-à-dire, en même temps que le passage sur la Garonne.

En résumé, la pose du premier tube a eu lieu le 26 janvier 1859, le levage de la partie métallique a commencé le 7 juillet de la même année, et le tout sera achevé le 15 juin 1860, c'est-à-dire que les fondations du pont auront été faites en 17 mois et la pose de la superstructure en 11 mois à peine.

Je joins ci-dessous un tableau présentant la durée du travail.

DÉSIGNATION DES TUBES.	DATE de leur commencement.	DATE de la fin.	DURÉE de l'exécution.	FICHE dans le sol.	FICHE moyenne par jour.	COTE au-dessous des hautes mers.
			jours.	m.	m.	m.
Pile 3. Tube 1. (Relèvement brusque.)	26 janvier 1859.	19 mars 1859.	52	10.95	0.21	20.45
Pile 3. Tube 2.............	19 avril »	2 mai »	13	11.10	0.85	20.60
Pile 2. Tube 1.............	21 mai »	4 juin »	14	8.64	0.62	21.00
Pile 2. Tube 2.............	15 juin »	25 juin »	20	9.09	0.45	21.45
Pile 1. Tube 1.............	13 juillet »	31 juillet »	18	7.74	0.43	21.34
Pile 1. Tube 2.............	23 août »	6 septembre	14	7.80	0.56	21.40
Pile 4. Tube 1.............	24 octobre »	16 novembre	22	14.54	0.66	21.69
Pile 4. Tube 2. (Explosion.).....	4 décembre »	15 janvier 1860	42	13.66	0.32	20.80
Pile 5. Tube 1.............	3 mars 1860.	17 mars »	14	14.10	1.00	20.20
Pile 5. Tube 2.............	23 mars »	7 avril »	14	14.40	1.02	20.50
		Totaux............	223	111.92		

Soit une fiche moyenne de $0^{m},50$ par jour.

Bordeaux, le 7 avril 1860.

LES

ARTS CÉRAMIQUES,

EXPOSÉS A LONDRES EN 1862.

PAR M. SALVETAT,

MEMBRE DU JURY INTERNATIONAL.

Les arts céramiques devaient présenter à l'Exposition de Londres un intérêt considérable : car on sait que la fabrication des poteries est exercée en Angleterre sur la plus vaste échelle ; s'adressant à des besoins journaliers, elle satisfait en même temps le goût d'un luxe qui s'accroît chaque jour. Cette industrie doit donc être, comme elle l'a été jusqu'à ce jour dans les expositions universelles, étudiée d'une manière toute spéciale et dans son ensemble. Le traité de commerce conclu récemment avec l'Angleterre ajoute encore un nouvel attrait à l'examen que nous avons fait des poteries exposées.

Les différents points de vue auxquels on se peut placer pour écrire sur les poteries sont nombreux. *Ustensiles d'usage domestique*, *produits réfractaires*, *outils industriels*, *objets de décoration et de luxe*, *valeurs commerciales*, ce sont autant d'éléments divers qu'il faudrait apprécier pour eux-mêmes et comparativement aux matières similaires que les industries étrangères peuvent livrer en concurrence avec nos propres produits.

Nous croyons devoir envisager isolément ces questions variées en insistant surtout sur trois titres principaux : progrès, importance commerciale et valeur artistique.

Mais nous aurons à présenter d'abord quelques considérations générales qui feront suite à celles qui sont publiées dans le Rapport de la Commission pour l'Exposition de 1851.

Le mouvement progressif que nous signalions dès 1851 dans la fabrication des poteries ne s'est pas ralenti, et si dès les premières années de ce siècle, la France et l'Angleterre étaient les seules qui parussent se préoccuper des développements à donner aux arts céramiques, il n'en est plus de même aujourd'hui. Plusieurs puissances tributaires de l'Angleterre commencent en Europe à s'affanchir, et l'Italie, la Suède, la Norwége,

l'Espagne ont créé des établissements qui satisfont déjà, en grande partie du moins, à leur consommation intérieure.

L'Allemagne reste stationnaire ; au moins il ne paraît pas que la porcelaine y fasse de grands progrès, et la fabrication de la faïence fine ne semble répandue que sur les bords du Rhin.

Depuis 1851, l'importance de la fabrication anglaise a beaucoup augmenté ; les débouchés d'Amérique ajoutent plus à l'exportation que l'installation des fabriques sur le continent européen ne lui retire ; la population ouvrière exclusivement occupée à ce genre de manufacture paraît s'être accrue d'un sixième environ.

On sait que les manufactures de faïence sont concentrées dans une partie du Staffordshire qu'on désigne pour cette raison sous le nom de Poteries. Le centre le plus important est Hanley, qui compte aujourd'hui 25 000 habitants et qui s'aggrandit tous les jours par l'annexion des villas voisines. Des bourgades entières disparaîtront; Shelton est absorbé; Burslem, Etruria, Stoke, Cauldon-Place, seront sans doute annexées bientôt. Les Poteries qui ne comptaient guère que 60,000 mille individus travaillant à la terre, il y a onze ans, en comptent aujourd'hui 70,000. Le même accroissement s'est fait sentir sur les autres points comme Worcester et Londres, où l'on fabrique des articles spéciaux.

Il existe donc en Angleterre une forte organisation ; des débouchés de plus en plus étendus contribueront encore à lui ajouter de l'importance. La possibilité de trouver réunis tous les éléments d'une fabrication augmente les ressources, et il est digne de remarque de voir rapprochés à Stoke-upon-Trent, une des meilleures écoles de dessin, une fabrique de papiers à l'usage des impressions, une fonderie et des ateliers de construction où tous les potiers rencontrent aux prix les plus convenables les appareils de broyage, de lavage et de raffermissement des pâtes. Il en résulte une puissance de moyens d'action que nous n'avons pas en France, et qui cependant produirait les résultats les plus avantageux s'il était possible d'en doter le pays.

Peu de fabriques font un seul article ; comme on peut cuire à la même température la porcelaine tendre à pâte phosphatée, le parian et la faïence fine, les fabricants qui ont le plus d'importance ont réuni ces trois fabrications, et leurs magasins sont actuellement les mieux achalandés ; Stoke, qui n'était qu'une ville de fabrication, peut devenir en peu de temps une ville de commerce.

En France, nous ne trouvons l'équivalent de cette organisation, et encore sur une échelle bien moins grande, qu'à Limoges, où les manufactures de porcelaine sont agglomérées. Aussi les porcelaines françaises y ont-elles été l'objet d'un commerce très-étendu, d'un développement considérable, et, disons-le de suite, si des causes qui n'existent pas dans le Staffordshire ne tendaient pas à rejeter la fabrication hors des villes pour la rapprocher des bassins houillers, ce développement eût été bien plus grand encore ;

mais le prix du combustible quatre fois plus élevé en France qu'en Angleterre, a gêné la fabrication, et la substitution de la houille au bois dans ces dix dernières années a jeté quelque indécision dans l'esprit de beaucoup d'industriels.

La fabrication de la porcelaine est donc actuellement en France répartie dans divers centres, et les fondateurs en créant leurs établissements se sont attachés surtout à se placer à proximité du combustible et des matières premières, telles que les kaolins que l'on a successivement découverts dans le Limousin, dans les Pyrénées, dans le plateau central de la France et enfin dans la Bretagne.

Une vue d'ensemble sur l'exposition céramique de 1862 suffit pour bien faire ressortir les faits que nous venons de signaler. L'exposition anglaise est très-importante, mais nous devons dire que la partie française ne donne qu'une idée bien imparfaite des ressources industrielles du pays.

Dans la fabrication des faïences, les plus grands établissements dont l'Empire s'honore ont fait défaut; Sarreguemines avec sa fabrication variée, son chiffre d'affaires qui s'accroît sans cesse, eût pu, bien certainement, soutenir avec honneur la comparaison avec mainte usine anglaise. Creil et Montereau eussent eu de même quelques succès, lors même qu'il eût fallu les partager avec la manufacture de Bordeaux.

La porcelaine dure que l'Angleterre ne fabrique pas et qu'elle n'a même aucun intérêt à fabriquer, aurait pu se trouver représentée par un plus grand nombre d'exposants de Limoges. A part M. Pouyat, dont l'exposition a fait tort à ceux de ses confrères qui sont venus à côté de lui, les fabriques du centre auraient pu fournir une exposition collective imposante, seule capable de mettre en relief la fabrication capitale du Limousin.

L'Angleterre a compris que la fabrication des poteries était une fabrication nationale et que la place ne lui devait pas manquer. Peu d'abstentions ont été remarquées, et les produits exposés ont prouvé que cette industrie est vivace. L'ampleur des spécimens que nous avons vus donne une grande idée de la richesse des fabricants, de leurs connaissances pratiques; toutefois, nous n'en pouvons pas conclure que nous ayons beaucoup à redouter de la concurrence possible sur le continent.

Les usages des deux pays sont différents; il est douteux qu'en France on change d'habitudes et qu'on préfère les poteries de faïences lourdes et qui, après tout, ne sont que de la faïence, aux porcelaines dures dont le blanc est parfait et dont la glaçure est à peu près inrayable; il est possible que quelques services riches imprimés avec luxe franchissent les frontières, mais ce ne sera qu'exceptionnellement, et les poteries blanches ne seront pas assez bon marché pour que la différence des prix soit en faveur des poteries anglaises, grevées toujours des frais de transport et peut-être longtemps encore des droits de douane.

Il n'y a guère à craindre de concurrence tant que les pièces fabriquées en Angleterre seront lourdes et grandes; et peut-on redouter que quelques

fabricants cherchent à se faire une clientèle exclusive en France? La forme des pièces exige une installation déterminée en modèles, en moules, en cazettes; cette installation est coûteuse, et la consommation française estimée maintenant à près de huit millions de francs vaut-elle la peine qu'une usine s'installe en se donnant comme programme une fabrication en rapport avec le goût et les usages de notre pays? Je ne le pense pas.

Il y a tout lieu de croire, au contraire, que la porcelaine française pénétrera davantage dans les coutumes anglaises, et que cette poterie par excellence pour les usages domestiques augmentera ses débouchés. Quant aux fabricants anglais, ils n'ont qu'un intérêt médiocre à faire de la porcelaine dure; la porcelaine tendre en usage en Angleterre chez les classes aisées vaut beaucoup plus que la porcelaine dure, et cette considération les a empêchés jusqu'à présent de faire cette poterie, qui leur rapporterait des bénéfices bien moindres. Les fabricants de faïence trouveraient-ils avantage, au moins quant à présent, à transformer leur fabrication? C'est douteux, et les obstacles qu'ils ont déjà rencontrés de la part de leurs ouvriers sont de nature à se présenter de nouveau [1].

Une fabrication très-importante en Angleterre est celle des grès à l'usage des fabricants de produits chimiques; nous pouvons dire que jamais cette industrie n'avait produit de spécimens aussi développés. Les plus beaux échantillons fournis par MM. Doulton et Watt de Lambeth sont des cuviers, des serpentins et des citernes. On fait, et d'une manière courante, des tuyaux énormes pour conduite d'eau, et des égouts en grès vernissé. L'industrie des produits chimiques aurait certainement avantage à faire usage de ces ustensiles, et nous constatons à regret l'infériorité sous ce rapport des fabricants français : ils peuvent sans doute donner comme excuse qu'ils n'en trouveraient pas le placement : toutes les tentatives faites en France pour l'introduire ont échoué jusqu'ici.

Un fait semblable se présente à l'égard des carreaux de pavage ou de revêtement. M. Minton a donné dans son pays un développement considérable à cette industrie, qui n'a pas chez nous de similaire. Elle ne présente cependant que des difficultés faciles à vaincre. Il est possible que prochainement les architectes aient à faire usage de ces produits pour décorer ou assainir les habitations nouvelles. De magnifiques échantillons de cette sorte ont été remarqués dans l'exposition de M. Minton; ils représentent non pas des spécimens préparés en vue de l'exhibition, mais bien réellement l'état florissant d'une industrie à laquelle les plus larges débouchés sont assurés.

Avant de passer en revue les produits des exposants français, nous dirons quelques mots des fabrications étrangères. La Belgique n'avait certainement fait aucun sacrifice, nous ne dirons pas pour briller, mais sim-

1. Voir pour plus de détails le Rapport officiel de la Commission française, Classe 35.

plement pour se montrer ce qu'elle est, habile dans la fabrication des grès et des produits réfractaires.

La Hollande commence à fabriquer sur une échelle un peu considérable. L'Espagne avec ses produits variés en faïence fine, blanche et imprimée, expose des spécimens de faïence peinte par la chromo-lithographie ou décorée d'impressions dorées ; la maison Pickmann, qui d'ailleurs marche dans la voie ouverte par le Staffordshire, n'a plus à redouter beaucoup la concurrence étrangère. L'Italie fait mieux et surtout en plus grande quantité qu'en 1851. Ainsi, de ce côté, progrès, mais progrès qui ne peut inspirer au commerce français aucune crainte sérieuse.

En Allemagne, en Prusse, en Autriche, en Saxe, la fabrication de la porcelaine dure est restée ce qu'elle était il y a dix ans, et ces contrées, en tant qu'on en puisse juger par les objets exposés, se reposent sur leur ancienne réputation; tout en louant les quelques pièces rares que le public admirait, nous ne sommes que l'écho fidèle des paroles de ce même public en reprochant aux manufactures allemandes de ne pas se régénérer, se rajeunir, comme le font les fabriques anglaises; celles-ci se développent en s'inspirant nettement de notre goût : on peut dire qu'elles y gagnent.

La Russie mérite plus d'éloges : les pièces exposées sont simples et bien réussies; leur dimension leur donne une importance qu'il faut reconnaître. Le goût des Russes les rapproche beaucoup de nous, et cette tendance se retrouve dans les peuples du Nord. On a pu remarquer l'exposition de la manufacture du Danemark comme l'une des meilleures, et c'est rendre hommage à la vérité que de citer ici les très-grands progrès qu'ont réalisés MM. Bing et Grondahl.

§ 1. Produits français.

Si l'on ne trouve pas dans l'exposition française, et même dans l'industrie céramique de notre pays, cette grandeur de ressources que l'on rencontre d'une manière si frappante dans l'industrie anglaise, on est néanmoins frappé de suite des détails qui nous font à juste titre passer pour être plus inventifs que nos voisins.

Une étude de la céramique considérée maintenant à ce point de vue va nous permettre de continuer l'exposé des progrès réalisés depuis le commencement du siècle : exposé que la Commission française de 1851 a dû arrêter à l'année 1850.

Manufacture impériale. — La manufacture de Sèvres n'est pas restée en dehors de son programme. Fournir libéralement à l'industrie privée des modèles artistiques; éclairer la fabrication particulière par l'essai des procédés nouveaux; corriger les anciens, étendre le champ déjà si vaste cultivé par le potier de terre, telle est sa raison d'être : rester utile, tel est le but qu'elle se propose d'atteindre pour répondre dignement à la

volonté souveraine du Prince qui supporte toutes les charges imposées par les manufactures impériales. Fidèle à son passé, l'établissement de Sèvres apporte à Londres le résultat d'efforts considérables, où le concours de l'élément scientifique a mis en relief les matériaux préparés par l'art pur. L'utilité de Sèvres n'est plus contestée par personne. Les progrès et le développement de la fabrication française démontrent que l'exemple est suivi, et nous disons avec orgueil pour les artistes qui travaillent dans la manufacture impériale, qu'ils sont imités, même à l'étranger; l'exposition anglaise se ressent de l'influence qu'ils exercent.

Les procédés de coulage appliqués avec tant de succès dans ces dernières années au façonnage des pièces minces et des pièces du plus grand diamètre ont été perfectionnés; en appliquant le principe des pressions par l'air comprimé ou par l'air raréfié, on s'est assuré des garanties de réussite : on dispose l'opération, pour empêcher la déformation de manière à maintenir suivant les cas, tantôt le contact de la pâte à l'intérieur du moule en y comprimant l'air, tantôt l'adhérence de la croûte en faisant le vide autour de l'extérieur du moule; le raffermissement s'opère au moyen d'une sorte de succion.

M. Silberman jeune a pensé pouvoir utiliser cette même méthode dans la fabrication des faïences fines imprimées; en supposant que le moule soit creux et qu'il porte l'empreinte d'un dessin quelconque, cette empreinte est chargée d'une couleur étendue d'une gomme miscible à l'eau, si la croûte peut être moulée et que la compression à l'intérieur du moule s'exerce par une pression convenable, on façonnera la pièce et on l'imprimera d'un seul coup. Il suffit de boucher le moule par une plaque qui ferme hermétiquement : des sphères entières peuvent être faites par cette méthode.

La Manufacture de Sèvres a produit, il y a dix ans, des pièces remarquables que beaucoup de fabricants ont imitées avec succès; les pâtes céladon avec reliefs, pâte sur pâte, sont devenues des types que l'on reproduit partout. L'exposition actuelle de Sèvres offre une grande variété de porcelaines colorées par des oxydes nouveaux. A l'oxyde de chrome, seul usité dans l'origine, on a ajouté les oxydes d'urane, de tungstène, de cobalt, de fer, de manganèse, de nickel seuls ou mélangés ; ces oxydes conduisent à des résultats remarquables; non-seulement on obtient des effets monochrômes intéressants, mais encore on peut faire des sujets peints et colorés qui, ne nécessitant qu'une cuisson, donnent, en quelque sorte d'un seul jet, des poteries décoratives d'un mérite véritablement céramique.

Mais il y a là de grandes difficultés à vaincre pour atteindre la perfection d'une industrie courante ; l'introduction dans la pâte de certains oxydes modifie la retraite et la fusibilité ; il faut corriger les pâtes colorées, afin de les ramener aux propriétés primitives de la pâte blanche. C'est par des tâtonnements longs et pénibles qu'on a pu arriver aux résultats obtenus. On ne peut les obtenir qu'en procédant méthodiquement, et du simple

au composé; l'exposition d'une série d'échantillons préparés avec grand soin par M. Gély fait voir ce que l'on pourra faire avec de semblables moyens.

La seule modification des proportions dans la composition de certaines pâtes a conduit à la préparation d'une matière remarquable par les nuances roses qu'elle prend à la lumière artificielle. De grands vases à fond uni ou à reliefs blancs sur fond vert-olive, vus à la lumière d'uné lampe, paraissent rouge-rubis; ils offrent des effets nouveaux dont l'industrie ne tardera certainement pas à s'emparer bientôt.

Les études faites à Sèvres sur la cuisson à la houille ont conduit à croire qu'on pourrait tirer un grand parti pour la coloration au grand feu de l'action qu'exercent sur les oxydes ou les silicates métalliques les gaz au milieu desquels on peut les maintenir à la température rouge. L'expérience a montré que des pâtes colorées par certains oxydes prenaient, après leur cuisson, des nuances différentes, suivant la composition de l'atmosphère au sein de laquelle elles étaient cuites. En employant donc à volonté, pour une pâte donnée, des atmosphères oxydantes, neutres ou réductrices, on produit des couleurs variées, dont quelques-unes au moins sont entièrement nouvelles : les poteries ainsi faites ont un caractère essentiellement céramique.

La restauration, à Sèvres, de la fabrication de l'ancienne pâte tendre rapprochant dans les mêmes magasins des peintures sur les deux sortes de porcelaines, a mis en évidence toute la supériorité de la pâte tendre au point de vue décoratif. Des tentatives intéressantes ont été faites pour ajouter plus de brillant aux porcelaines dures, et l'Exposition de 1862 prouve qu'à cet égard des progrès réels ont été faits. Les couleurs cuites à la température qu'on nomme demi-grand feu, étaient réservées autrefois pour des cas spéciaux, ceux des fonds sur lesquels on devait appliquer de la dorure; elles sont employées maintenant aux peintures décoratives, et la voie nouvelle dans laquelle on est entré ne peut tarder de porter ses fruits.

La manufacture de Sèvres n'avait jamais exposé des poteries aussi variées; les terres cuites, les faïences décorées, les poteries vernissées décorées dans les genres les plus variés prouvent surabondamment que cet établissement cherche sérieusement à étendre son cercle d'action.

L'introduction du borate naturel double de chaux et de soude a été, dans cette direction, un élément de succès; et si sa substitution au borax ou à l'acide borique ne s'est pas répandue en Angleterre, il faut admettre que c'est sans doute parce que les essais qu'on en a faits n'ont pas été menés avec assez de persévérance. Nous ne doutons pas que les fabricants des poteries communes à glaçure colorée ne s'empressent d'en faire usage, aussitôt que l'emploi des glaçures exclusivement plombeuses sera prohibé.

L'exposition de la manufacture de Sèvres se compose donc, en résumé :

De terres cuites en biscuit, de terres vernissées ;
De faïences peintes sur glaçure crue et cuite préalablement ;
De porcelaines tendres en fond décor en or, et de porcelaines tendres décorées de peintures ;
De porcelaines dures, biscuit ou mises en couverte;
D'émaux genre limousin ou émaux cloisonnés.

La variété des formes et des décors et le mérite de la ciselure des bronzes, classent les artistes qui concourent au succès de cette Exposition sur la même ligne que ceux qui, par leurs talents, ont contribué depuis si longtemps à la réputation européenne de cet établissement.

Nous irons, en terminant, au-devant du reproche qu'on pourrait nous adresser d'avoir fait ressortir avec trop de complaisance la valeur de l'exposition d'une manufacture à laquelle nous appartenons ; mais nous ne pouvions laisser échapper cette occasion de lui faire une large part dans les éloges que le public a hautement exprimés sur la plupart des produits céramiques français. Ce serait manquer aux devoirs de l'administration ; elle est heureuse, en cette circonstance, de citer les noms de MM. Froment, Roussel, Fragonard, Van Marke, Barryat, Apoil, J. André, Bulot, Cabau, Barré, Palandre, Schilt parmi les peintres; David, J. Richard, Blanchard, F. Richard parmi les décorateurs ; H. Régnier et Gely parmi les sculpteurs sur pâte; Larue parmi les modeleurs ; Gobert parmi les émailleurs et Mulleret parmi les ciseleurs.

La manufacture impériale a fait faire, en France, de grands progrès à l'art céramique.

Manufacture de Limoges. Sous l'influence de Sèvres la fabrique de Limoges s'est réveillée ; M. Pouyat avait déjà présenté à Paris de magnifiques échantillons d'une poterie très-remarquable. Il prouve au palais de Kensington que sa fabrication n'a pas dégénéré. L'exposition centrale de Limoges, en 1857, avait démontré la transformation subie par la porcelaine dure dans le Limousin; nous avons regretté, de cette partie de la France, de nombreuses abstentions, en tête desquelles il faut mettre M. Alluaud ; sauf quelques manufactures qui, comme celles de MM. Gibus et Comp., Jullien, Ardant et quelques autres, font de la porcelaine de luxe, les autres usines se livrent plus particulièrement à la fabrication des objets d'usage, dont les prix doivent baisser de plus en plus.

Manufacture de Bordeaux. Parmi les manufactures les plus importantes et parmi celles qui suivent un programme réfléchi, en étudiant la fabrication pour diminuer les prix de revient, il faut citer celle de Bordeaux : le directeur, M. J. Vieillard, à la tête d'une grande fabrique de faïence, a compris qu'il y avait avantage pour lui de joindre à ses produits la porcelaine dure, dès l'instant que la cuisson à la houille était possible, et qu'il avait sous la main des matières premières de bonne qualité. Il a fait alors tous ses efforts pour introduire dans cette fabrication les méthodes perfec-

tionnées à l'aide desquelles il façonne maintenant les pièces de forme quelconque; il a donc appliqué le calibre au tournage, et mis entre les mains du tourneur le tour automoteur mécanique. De là une grande régularité dans sa fabrication; de là la quiétude avec laquelle il continue sa fabrication, quoique Bordeaux, par sa position sur un grand fleuve, à proximité de nos frontières et presque sur la mer, soit depuis la conclusion du traité de commerce avec l'Angleterre une des places les plus exposées à la concurrence anglaise.

M. Vieillard, loin de diminuer l'importance de son usine, vient au contraire de l'étendre davantage en y adjoignant la fabrication des bouteilles.

Manufacture du Cher et de l'Allier. Les autres centres de fabrication de la porcelaine, le Cher et l'Allier, étaient représentés à l'Exposition par MM. Pillivuyt de Mehun et Hache de Vierzon; l'importance de ces établissements est connue; elle s'accroît chaque jour en raison des facilités nouvelles apportées par les voies de communication.

Manufacture de Bayeux. Outre la poterie de luxe et la porcelaine de table, celle de la poterie connue en France sous le nom de porcelaine allant au feu, reçoit daus l'établissement de M. Gosse, à Bayeux, un développement constant. Nous avons pu remarquer dans l'exposition française les produits très-variés, bien fabriqués et à très-bon marché, exposés par M. Gosse. On a pu y voir un assortiment des plus complets des articles de chimie, destinés aux usages des laboratoires et des pharmacies. Quoique de dimensions beaucoup moindres que les objets de grès exposés par les Anglais, nous continuons à penser que cette fabrication doit marquer en France parmi celles qu'on estime comme les plus utiles, et qu'elle doit être encouragée. Il s'est élevé à Ronchamps, dans le Jura, une concurrence qui n'est pas sans importance : il est fâcheux que M. Barré-Russin n'ait rien envoyé.

Procédés de décoration. En abandonnant la fabrication proprement dite pour étudier la décoration, nous aurons à citer plusieurs faits intéressants qui se sont produits depuis 1851.

MM. Dutertre frères. Le fait capital est l'introduction en France des procédés au moyen desquels on supprime le brunissage de la dorure en la faisant sortir toute brunie du moufle. MM. Dutertre frères ont les premiers fait connaître un procédé qui donne d'excellents résultats, et qui a conduit au développement considérable de la porcelaine d'exportation. MM. Dutertre frères font plus d'un million d'affaires, et ce chiffre ne porte que sur la façon; ils reçoivent à forfait la porcelaine blanche et la livrent toute décorée. L'or sans brunissage a permis de décorer richement certaines pièces à dessins contournés dans l'intérieur desquels le brunissoir n'eût pu pénétrer; la préparation décrite par MM. Dutertre a été le point

de départ d'une foule de recettes qui concourent toutes à former un produit qui n'était qu'à l'état de secret en Allemagne, là où fut découverte la dorure de Meissen. La dorure brillante, comme on la désigne généralement en France, ou dorure Dutertre, était exposée par M. Battier de Limoges; le jury n'a pas cru devoir accorder à cet exposant la récompense qui ne pouvait appartenir qu'aux frères Dutertre; s'ils eussent exposé sous leur nom, la médaille leur eût été décernée.

MM. Gilet et Brianchon. Les principes révélés par M. Dutertre pour fabriquer leur dorure, c'est-à-dire la préparation d'un liquide huileux pouvant se charger d'or, se conserver à l'état fluide, se déposer ensuite sous l'influence de la chaleur qui brûle les parties organiques sous forme d'une couche mince métallique, apparaissant avec la couleur et l'éclat du métal le plus précieux que nous connaissions, ces principes, ont été mis à profit par M. Brianchon, pour obtenir des lustres brillants et nacrés qui sont excessivement remarquables. Les oxydes de fer, de plomb, de bismuth, d'urane, d'argent, substitués à l'or dans des réactions analogues à celles que MM. Dutertre ont dévoilées, conduisent aux effets les plus surprenants, soit qu'on emploie ces agents seuls, ou par superposition sur des fonds blancs ou sur des fonds de couleur. Non-seulement M. Brianchon a reproduit ainsi les tons naturels de la perle et de la nacre blanche, mais il a fait l'imitation la plus satisfaisante qu'il soit possible de produire des irisations colorées des nuances les plus foncées. L'exposition de MM. Gilet et Brianchon se fait remarquer par un ensemble complet et un cachet de nouveauté qu'on ne trouve nulle part.

Outre les lustres d'or, nommés *burgos*, et quelques nuances tirées du plomb et de l'argent, nous ne connaissons dans ce genre que le lustre de fer imitant la dorure, dont la manufacture de M. Minton fait un emploi journalier pour filer des assiettes de faïence fine et d'autres pièces de service.

M. Daniel. M. Daniel a fait au tour à guillocher une séries intéressante de tasses décorées. La pièce étant chargée d'un fond de couleur, la pointe du burin, montée sur le tour, forme un trait régulier qui dépend de la forme de la rosette.

MM. Macé et Prévost. La chromolithographie présente dans l'exposition de M. Macé une certaine importance; depuis longtemps on sait imprimer sur les poteries soit sous glaçure comme pour les faïences, soit sur glaçure comme pour les porcelaines. Mais c'est seulement dans ces dernières années qu'on a pu faire l'application de la chromolithographie à ce genre de décoration. La gravure en creux ne permet pas le même genre de travail, et d'ailleurs elle est beaucoup trop coûteuse. Un ouvrier lithographe, du nom de Mangin, eut l'idée d'appliquer la chromolithographie à la peinture sur porcelaine. Il trouva dans les pratiques de l'impression mono-

chrôme, appliquée depuis quelque temps par M. Macé et quelques autres décorateurs, comme M. Prévost, le moyen de réaliser son idée. Plusieurs planches repérées convenablement donnent sur une seule et même feuille de papier une succession de nuances, ou juxtaposées ou superposées, de manière à former un dessin coloré. L'encrage de la pierre se fait au vernis. Le papier est encollé avec une préparation glutineuse particulière. Lorsque le vernis est encore frais, on saupoudre l'épreuve avec de la couleur en poudre impalpable, qui n'adhère que sur les points chargés de vernis. On complète l'adhérence par un passage à la presse. On superpose ainsi toutes les couleurs, en commençant par les plus foncées pour terminer par les plus claires, généralement plus délicates; elles seraient altérées par les autres si l'on opérait inversement.

Un seul décalcage suffit. Le papier imprimé par masses, préparées à l'avance, peut être conservé et livré aux décorateurs ou fabricants affranchis de la sorte de l'embarras du tirage et de la gravure. Il est vraisemblable que cette impression rentrera un jour ou l'autre dans les attributions des lithographes. En Angleterre, déjà les dorures imprimées sont spécialisées entre les mains d'industriels qui vendent des papiers imprimés en or; le fabricant ou le décorateur n'a plus qu'à détremper le papier, faire le transport et cuire.

Quelques tentatives de chromolithographies ont été faites en Allemagne, mais les résultats exposés font voir que cette application y est encore à l'état rudimentaire. En Angleterre, on est beaucoup plus avancé, mais les procédés diffèrent en plusieurs points. On se sert de clichés à reliefs, qui se chargent au rouleau. L'encrage est fait avec la couleur elle-même. On n'a pas la même netteté que par les procédés français; au reste, comme les impressions anglaises se font généralement sous glaçure, et pour des couleurs dites *fluantes*, la netteté n'est pas une condition que l'on recherche d'une manière expresse.

Poteries décoratives. M. Gille. Les décorateurs de Paris ont mis en grande mode, au moins dans un certain monde, des figurines de porcelaine peinte : l'abus en tout est un défaut; il est certain que l'introduction dans l'exposition de M. Gille, d'un grand nombre de ces pièces, dont quelques-unes même ne sont pas d'un goût irréprochable, a nui singulièrement à l'effet général de cette exposition.

L'exposition de M. Gille, sauf l'exception que nous venons de citer, nous ramène naturellement à la partie artistique de l'exposition française. Et si évidemment nos exposants ont apporté cette année quelques nouveautés, c'est de ce côté. On a remarqué les faïences de MM. Jean, Pinart, Devers, et Lavalle, les quelques pièces de M. Avisseau, de Tours, les faïences de M. Laurin; les porcelaines de M. Rousseau; les poteries de M. Deck, et pour terminer, les produits divers exposés par MM. Lahoche et Pannier; toutes ces poteries ont indiqué des voies qui ne seront pas perdues pour

nos voisins. Leur habileté dans les arts céramiques leur permettra sans peine d'amener à la dernière perfection les imitations des modèles qui viennent de leur être présentés; et il est à craindre qu'ils ne laissent loin derrière eux leurs maîtres d'aujourd'hui. La fabrication des poteries, quelles qu'elles soient, comporte non-seulement l'art qui est la pensée, mais la matière qui devient le corps, la forme que revêt cette pensée. A part quelques-uns parmi ceux que nous venons de nommer, comme MM. Pinart, Jean, Lavalle, qui connaissent parfaitement leur métier, qui sont initiés aux connaissances si nécessaires aux céramistes, il en est qui ont trop négligé la partie pratique de leur art, celle par laquelle et à cause de laquelle leur œuvre durera. A ceux-là, s'ils ne veulent pas être distancés, nous conseillons d'emprunter aux Anglais leur grande habileté, leur intelligence complète de toute la science céramique.

Avec une grâce charmante, lord Grandville a dit que la nation anglaise avait beaucoup profité des grands concours de 1851 et de 1855. — Il a de suite ajouté qu'il se pourrait bien qu'elle profitât encore de celui de 1862. S'il est une industrie qui se soit modifiée chez nos voisins, à propos du goût, c'est assurément la céramique, et s'il est probable que quelque industrie anglaise doive encore gagner à la vue des produits des manufactures françaises, c'est encore, à notre avis, celle des poteries, et surtout celle des poteries artistiques.

M. Minton, seul en 1851, s'était vu disputer déjà, en 1855, la première place par MM. Copeland et Kerr, de Worcester; en 1862, on voit chez MM. Wedgwood d'Etruria, Grainger de Worcester, sir James Duke de Burslem, une tendance artistique bien marquée et le désir d'enlever à MM. Minton, Copeland et Kerr, une partie de leur clientèle aristocratique. Les services à cet égard que peuvent rendre à l'Angleterre les artistes potiers qui figurent parmi nos exposants, ont été gracieusement reconnus par le jury, car les membres anglais n'ont pas montré vis-à-vis d'eux, nous sommes heureux de le consigner ici, la sévérité dont ils ont fait preuve à l'égard des fabricants anglais, envers lesquels ils nous ont semblé parcimonieux.

§ 2. Produits anglais.

Les efforts que font pour occuper la première place les exposants tels que M. Minton, M. Copeland, et les établissements de Worcester, ont amené des résultats importants. On a pu voir avec intérêt l'extension que prend en Angleterre la pâte dite *parian*, et les spécimens remarquables offerts au choix du public par M. Copeland. Cette matière dont la nuance jaunâtre est agréable et qui séduit beaucoup plus que les biscuits si froids de notre porcelaine, comme ne le prouve que trop l'exposition de M. Gille, cette matière a reçu dans les ateliers de M. Copeland une destination toute princière, lorsqu'elle est appliquée avec discernement à la reproduction des marbres antiques. On citera, nous n'en doutons pas, la

Vénus de Milo, dont la nuance et le poli sont irréprochables. Nous citerons encore dans ce genre un buste de l'Apollon du Belvédère, par M. Brown-Westhead, de Hanley.

Mais M. Minton est toujours l'exposant anglais qui est resté supérieur à tous les autres, malgré la meilleure tendance artistique qu'on remarque chez M. Copeland. Par la variété de sa fabrication, par les mille sujets divers qu'il expose en earthenware de toutes sortes, en majolique, en terra cotta, en porcelaine tendre anglaise, en porcelaine tendre française, en poteries vernissées, en carreaux imprimés ou incrustés, il occupe le premier rang.

Nous signalerons aux fabricants français, comme pièces qu'ils pourront facilement reproduire :

Des parian découpés à jour, vernis ou non;

Des vases de faïence peinte sur émail;

Des terres cuites peintes sous glaçure, qui sont d'un glacé très-brillant.

Un trait fait sur le biscuit lui-même avec un crayon composé, donne une silhouette d'ensemble qu'il suffit d'ombrer ou de modeler avec des couleurs dures pour avoir un travail complet. Le ton clair de la pâte forme, sans autre artifice, l'extrême lumière des figures.

Ce travail au crayon très-remarquable dont nous avons trouvé des traces dans une exposition d'Allemagne, celle de M. Muller, de Berlin, peut accomplir une révolution et donner au potier les ressources d'une sorte de pastel, s'il sait préparer des crayons de couleurs variées. Or, il n'y a pas de difficulté sérieuse. Une boîte de pastels convenables permettra donc à l'artiste, débarrassé de toute préoccupation de métier, de dessiner sur dégourdi, et de substituer ainsi à la peinture monumentale faite au moyen de la mosaïque, de véritables pages également inaltérables. Cuites et passées sous une couche de matière vitreuse et transparente, ces peintures constitueront une sorte de fixé comparable aux anciens émaux dont l'excipient métallique serait remplacé par un excipient de terre cuite.

La belle aiguière de M. Minton et le plateau qui la reçoit sont faits par ces procédés.

Les terres cuites à pâte marbrée recouvertes de glaçures colorées conduisent aux pièces que M. Minton appelle malachite, porphyre, et azulite. L'industrie française peut à son tour s'enrichir de ces nouveautés et surmonter les difficultés matérielles que ces fabrications doivent rencontrer. Un établissement modèle que la France possède, et qui, peut-être à tort, n'a pas voulu concourir, Sarreguemines, trouverait par la variété de sa production de grandes ressources dans les circonstances nées du traité de commerce; n'est-ce pas une faute de n'avoir pas fait voir aux consommateurs indigènes ce qu'ils peuvent attendre des sacrifices que le patriotisme de nos industriels vient de leur inspirer?

En exagérant un peu la nuance jaune du parian, en choisissant, pour

en composer la pâte, du feldspath un peu plus ferrugineux, en maintenant très-oxydante la constitution de l'atmosphère de cuisson, on a fait une pâte très-remarquable; c'est une imitation de l'ivoire. L'Exposition de M. Grainger renferme de charmants petits vases découpés à jour, des boîtes à bonbons du plus bel effet. Cette même pâte, imitant l'ivoire, se trouve émaillée dans la vitrine de M. Kerr de Worcester.

Sir James Duke a, comme nouveautés que nous pouvons citer encore, des fonds noirs très-brillants et des dessins de même teinte, glacés, enlevés sur fond mat. Ces décors, qui rappellent les étrusques, auxquels d'ailleurs ils ont emprunté leurs contours et leurs formes, sont faciles à reproduire. Les pâtes colorées en noir sont recouvertes du vernis qui avive la nuance de la pâte. On trace la silhouette, puis on enlève, en usant ou de toute autre manière, les parties que l'on veut rendre mates.

Le caractère principal de l'exposition d'Etruria est tiré des jaspes que Josdah Wedgwood a le premier créés et que ses descendants n'ont pas cessé de faire. A la fabrication de la pâte légèrement jaunâtre que les Anglais nomment *cream colour* ou *queen's ware*, MM. Wedgwood ont ajouté les faïences peintes; ils ont fait appel aux talents de M. Lessore, dont on retrouve les travaux chez M. Minton et dans quelques autres expositions de marchands qui, comme Goode et Phillips, achètent à Stoke-on-Trent les produits qui décorent leurs magasins de Londres.

La terre de pipe de MM. Wedgwood, cuite en vernis, peut parfaitement recevoir un second feu sans qu'elle se gerce ou tressaille comme le fait la faïence commune à glaçure stannifère. M. Lessore fait donc sur ces pièces de la peinture de moufle qui, largement touchée, produit un bel effet. Nous pourrons citer dans ce genre deux vases à dessins lachés, obtenus sans frais par des aplats bleus, modelés en demi-teinte avec un trait pour limiter les contours et quelques coups de grattoir pour retrouver les lumières.

Les expositions de M. Kerr de Worcester sont remarquables par leurs imitations d'émaux de Limoges à reliefs blancs sur fond bleu; les blancs sont bien gras, sans tressaillures ni écailles; ce genre, autrefois caractéristique de la manufacture royale de Worcester, se retrouve sans défaut dans les expositions de MM. Minton et Copeland.

MM. Battam et fils ont une spécialité dans l'imitation des étrusques ou vases italo-grecs. Quelques-uns sont d'une exactitude remarquable.

§ 3. Perfectionnements techniques.

Si nous quittons maintenant le domaine de l'art pour pénétrer dans celui de l'industrie, nous signalerons comme progrès technique réalisé en Angleterre l'appropriation du tour automoteur mécanique à la fabrication des grès cérames. La magnifique exposition de MM. Doulton et Watt, de Lambeth près Londres, comprend une série très-remarquable

de pièces tournées, et qui sont le résultat de l'emploi d'un tour qu'on a pu voir fonctionner dans la galerie des machines.

On sait que dans les tours ordinaires employés à la fabrication des faïences, le tour est mis en mouvement par un enfant, et quelquefois en Angleterre par une femme. Le tour exposé présente cet avantage que, directement mû par le moteur général de l'établissement, le tourneur, au moyen de mécanismes très-simples, peut régler lui-même la vitesse de son tour et l'arrêter tout à fait lorsqu'il le juge convenable. A cet effet, une pédale, sur laquelle il peut agir sans changer de place, fait embrayer, et une sorte de griffe avance ou recule à volonté la courroie qui transmet le mouvement à deux cônes placés horizontalement et dont les sommets sont en sens inverses. La vitesse du tour est donc en rapport avec la place qu'occupe la courroie sur le cône qui communique avec l'arbre du tour.

Chez M. Vieillard, de Bordeaux, la variation instantanée dans la vitesse est obtenue par un cône de friction agissant sur le volant du tour et qui se déplace en avançant plus ou moins vers le centre, suivant qu'on veut modifier la vitesse de rotation.

La quantité considérable qu'on doit raffermir dans une manufacture de l'importance de celles qu'on trouve en Angleterre, a fait chercher des méthodes expéditives et plus économiques que celles connues jusqu'à ce jour. On doit à deux inventeurs anglais, MM. Needham et Kite, une modification intéressante de la presse à raffermir qu'on doit à l'initiative d'un fabricant français, M. Honoré. Dans ce système, la pâte à l'état de barbotine est mise dans des sacs, et les sacs placés à côté des autres, et par lits séparés au moyen de claies, reçoivent une pression considérable et graduée dans une presse à vis. Les sacs sont en toile.

En Angleterre, on a modifié les détails en conservant les principes. Comme aucun ouvrage français n'a donné jusqu'à ce jour l'indication de ce procédé, nous croyons qu'on en verra très-utilement ici la description sommaire.

Une série de 24 châssis compose un appareil; ces châssis renferment chacun une claie, de telle sorte que les châssis étant en place laissent un vide dans lequel les sacs peuvent être maintenus. Les châssis chargés de leur sac sont placés verticalement. Pour y placer les sacs on les pose à plat, en étendant à leur surface une double étoffe faite de calicot commun. Le coton vaut mieux que la toile; son duvet beaucoup plus long attire par capillarité à l'extérieur l'humidité qui se trouve à l'intérieur. On replie sur les bandes du châssis le tissu sur lui-même en double pli pour former le sac qui se trouve alors fermé comme un sac de papier. L'intérieur du sac ainsi préparé communique avec un tube métallique fixé à demeure sur la toile et qui se place dans une échancrure formant un trou circulaire quand deux châssis consécutifs sont mis en place et juxtaposés. De petites encoches inté-

rieures dans une bande des châssis portent des clous à l'aide desquels on ajuste les sacs pour qu'ils restent suspendus dans l'espace compris entre les claies quand les châssis sont maintenus dans leur position verticale.

Après avoir placé de la sorte et les uns à côté des autres les 24 châssis qui composent l'appareil, on serre les uns contre les autres ces cadres avec des tirants terminés par des boulons, et on ajuste sur chacun des tubes communiquant avec les sacs, un autre tube soudé sur un tuyau commun. La réunion est maintenue par une coiffe métallique percée d'un trou fileté qui monte ou descend suivant qu'on veut serrer ou desserrer la réunion. C'est par ces tubes que les sacs se remplissent; le tube principal communique avec une pompe qui puise la barbotine et la répand dans les sacs; l'eau s'écoule par une série de trous placés sur la barre inférieure des châssis; et le vide qui se fait est de suite rempli par le travail de la pompe. Un massif de 0m,61 de hauteur sur 1m,83 de largeur et 2m,75 de longueur, desservi par deux ouvriers, permet de raffermir par pressée 1 000 kilogrammes de pâte. On peut faire trois pressées par jour. Dans les cas d'urgence, rien ne s'oppose à ce qu'on travaille la nuit pour doubler cette quantité. Le système ainsi décrit fonctionne dans les poteries chez les plus importants des exposants anglais.

Un décorateur d'origine française, M. Grégoire, vient d'importer en France quelques modifications intéressantes aux procédés de pose des fonds avec réserve. Elles permettent d'obtenir facilement, promptement et sûrement la pose des fonds parfaitement unis, en réservant certaines finesses et des espaces libres sur lesquels on peut après coup peindre ou dorer.

Les parties que l'on veut réserver sont couchées sans précaution autre que celle de ne pas déborder les portions à couvrir avec une matière soluble à l'eau, composé de sucre et d'empois légèrement coloré par un suc d'une substance végétale, ordinairement du carmin de cochenille, ou de la laque; lorsque ce liquide s'est ressuyé et qu'il n'est plus poisseux, on le surcharge d'un mordant qu'on applique avec la queue de morue sur toute la surface en recouvrant à peu près également les parties déjà chargées du premier mélange. On étend la matière grasse, huile de lin, avec un petit tampon de mousseline très-fine dans l'intérieur duquel on a mis du coton ou de la ouate; on se sert de ce tampon comme on le ferait d'un putois; mais on a cet avantage que le grain du putois n'existe plus et que le fond est parfaitement uni. Quand le mordant s'est étalé sur lui-même, ce qui se fait ordinairement dans une étuve à l'abri de toute poussière, et qu'il reste encore poisseux, on pose la couleur à l'état de poudre impalpable; elle adhère complétement sur toutes les parties glutineuses. La couleur est étendue en la frottant à sec par saupoudration sur la poterie, à une seule fois pour les tons clairs, à deux reprises pour les couleurs foncées; quand il s'agit de décorer de fonds bleus la porcelaine tendre ou la faïence fine, on se borne à saupoudrer la

pièce mordancée d'oxyde de cobalt; la glaçure, sous l'influence de la chaleur, dissout cet oxyde et lui fait acquérir sa coloration bleue caractéristique.

Lorsque le mordant abreuvé de couleur est suffisamment sec, on humecte la pièce avec de l'eau. La couleur se délaye partout où la réserve soluble dans l'eau forme la partie inférieure de la couche, et en facilitant le détrempage avec quelques flocons de coton, on fait apparaître le dessin qu'on a voulu réserver.

Cette méthode, employée d'une manière courante chez M. Macé, d'Auteuil, est d'importation anglaise. Nous ne pouvons donner le nom du fabricant qui le premier a mis en usage ce procédé dans le Staffordshire. Elle est plus pratique et plus expéditive que celle qui consiste à mettre sur le fond déjà posé une couche huileuse colorée par de la cochenille ou de la laque, pour délayer la matière résineuse qui rend adhésive, sur les parties qu'il faut dénuder, la couleur du fond. Ce dernier procédé trouvé par M. Plée, de Limoges, est celui qu'on emploie généralement en France.

Si, pour passer en revue toutes les industries céramiques anglaises nous jetons un regard sur les terres cuites destinées à l'ornementation extérieure, nous voyons que cette partie de leur fabrication est importante; plusieurs exposants, sans compter M. Minton, ont montré la voie neuve dans laquelle ils veulent résolûment entrer, et nous ferons remarquer que leurs figures et les grands vases de jardin ne manquent pas d'un certain caractère d'élévation et de goût artistique.

C'est ici l'occasion de citer dans ce genre deux expositions remarquables, celles de M. March et celle de M. Vidal, du Danemark, et de regretter l'absence de MM. Virebent, de Toulouse, qui ont répandu, dans le midi de la France, l'emploi des décorations en terre cuite. L'exposition de M. Garnaud, qui répond à ce même besoin dans les environs de Paris, doit être appréciée dans le travail de la classe 10e relatif aux matériaux de construction.

Sans présenter ici l'examen complet des perfectionnements qu'on peut signaler dans la fabrication des briques, nous devons ne pas omettre de consigner quelques observations que nous ont permis de faire les différentes matières réfractaires exposées par l'Angleterre.

Une grande cause de la supériorité des produits anglais tient à ce qu'on trouve sur le même point l'argile et de l'argile de très-bonne qualité, du combustible à bas prix, et le minerai de fer qu'on traite sur place; il en résulte que les produits réfractaires sont généralement préparés sur les lieux mêmes de consommation.

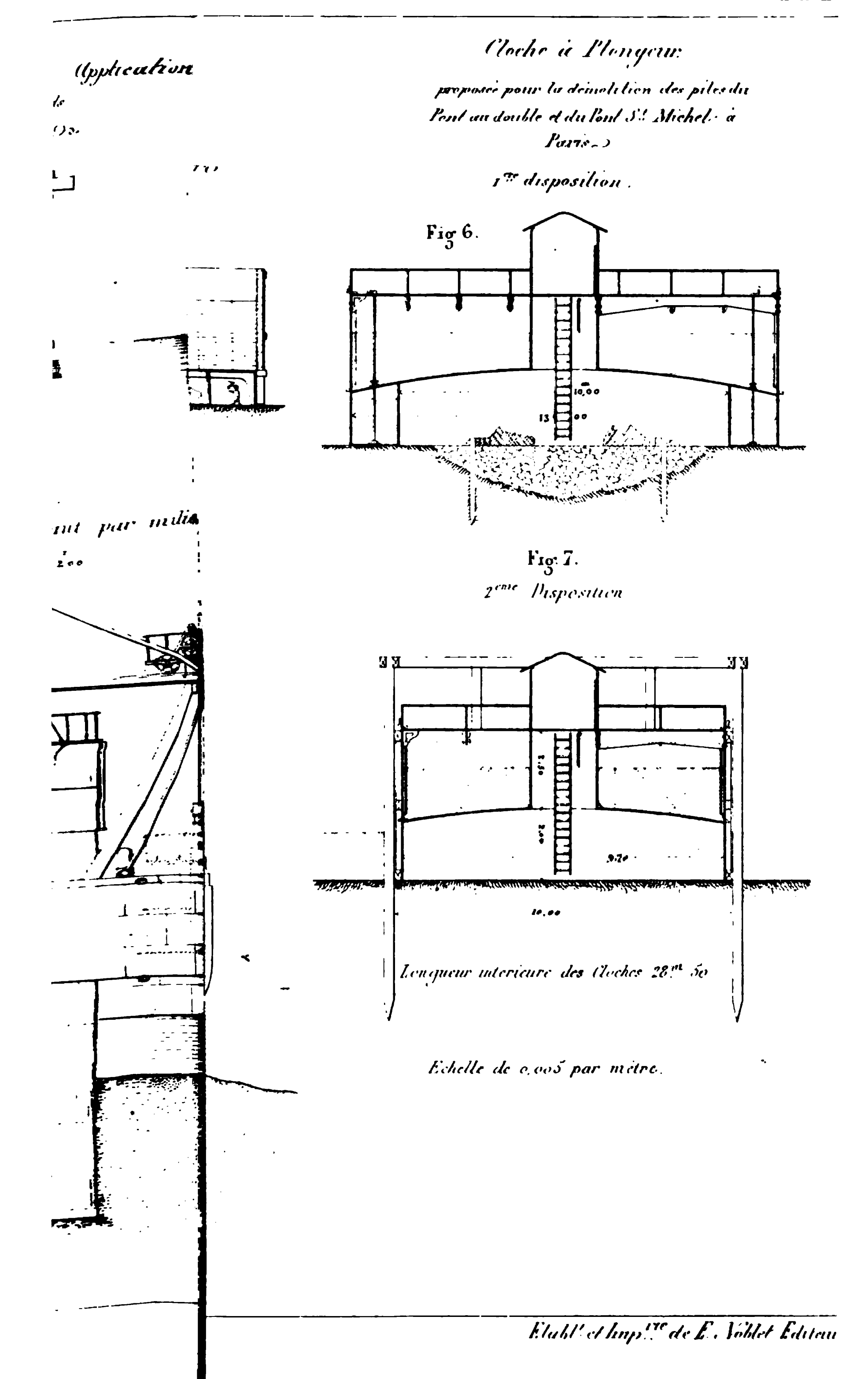
L'argile de Stourbridge mérite une mention toute spéciale; éminemment réfractaire, elle ne possède qu'une plasticité suffisante; elle semble contenir en mélange naturel assez de silice pour être dégraissée convenablement, en sorte qu'il suffit pour la façonner de la délayer dans l'eau;

encore ce délayage est-il facilité par la propriété que cette terre schisteuse possède de se déliter spontanément à l'air.

Nous avons remarqué avec intérêt des fragments d'argile cuite qui avaient pris à la cuisson assez peu de retrait pour s'ajuster avec une exactitude parfaite sur les parties crues desquelles ils avaient été détachés. On comprend sans peine que des matériaux réfractaires, composés avec une semblable argile, ne prennent aucun retrait, et coûtant d'ailleurs assez peu, n'offrent que peu de rebut, dans les pièces d'un assez grand volume, comme pièces d'étalage, siéges de fours à verreries, voussoirs, pots, cornues à gaz, tuyaux, etc., etc. Nous pensons que c'est là un aspect nouveau de la question, et que la recherche des terres analogues aux argiles de Stourbridge, dans les mêmes conditions d'extraction et d'emploi, pourrait devenir lucrative.

En résumé, les résultats de l'Exposition universelle de 1862 sont bons au point de vue de l'industrie nationale. Le jury a décerné dans la 35e classe, 14 médailles et 4 mentions sur 35 exposants. L'honneur engagé n'est pas perdu, et nous pouvons dire que si nous voyons les manufactures anglaises tirer parti de ce que nous avons été leur porter, la vue de ce qu'ils ont exposé n'aura pas été non plus sans porter ses fruits de ce côté du détroit. Il dépend de nos industriels d'en bénéficier, — ils le peuvent dans leur intérêt, — ils le doivent dans l'intérêt de la nation. Nous verrons les conséquences de ce grand concours apparaître dans la prochaine exposition.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.



Etabl.t et Imp.rie de E. Noblet Editeur

e de

n Appa

...ns des Ponts

...des Appareils

Fig. 14.

Coupe et Assemblages des Cylindres.

Presses hydrauliques.

3,330	Diamètre extérieur . . . 3m 600
0,550	Hauteur . . . 1,000
0,309. Surface 0,074,991	Epaisseur . . . 0,040
...piston d° 0,012869	Surface . . . 10m 1787
	Poids { fonte . . . 3,580
Surface totale 0,062122	Poids { 400 boulons . . . 57 kilos
...ession de 80 atmosphères 54,400 kg	Poids par mètre courant . . . 3,907 kilos
...du Contrepoids extérieur 227,600	

...ements généraux sur la marche du Travail.

...heures de travail continu . . . 20 m cub.

d° d° d° . . . 1,60 m

...chèvement d'un tube y compris bétonnage et installation . 25 jours

...num dans le sol . . . 17m 08

sous le niveau des hautes mers . . . 21m 63

Établt et Impie de E. Noblet, Éditeur.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT, SEPTEMBRE 1862)

N° 19

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Exposition de Londres*, séances de la Société (voir le résumé de la séance du 18 juillet, page 283).

2° *Société amicale des anciens élèves de l'École centrale* (voir le résumé de la séance du 8 août, page 284).

3° *Voies à éclisses-tables entièrement en fer*, par M. Mazilier (voir le résumé de la séance du 8 août, page 285).

4° *Meules d'émoulage*, par M. Desmousseaux de Givré (voir le résumé de la séance du 8 août, page 287).

5° *Changement de voie tout en fonte moulée*, par M. Arson (voir le résumé de la séance du 8 août, page 288).

6° *Réservoir en fonte*, par M. Arson (voir le résumé de la séance du 8 août, page 288).

7° *Photomètre parasynoptique* à indicateur instantané, de M. Burel (voir le résumé de la séance du 22 août, page 292).

8° *Éclairage des nouveaux théâtres de la place du Châtelet*, par M. Tresca (voir le résumé de la séance du 22 août, page 293).

9° *Sur la production de l'acier des fontes françaises*, considérées jusqu'à présent comme aciéreuses (voir le résumé de la séance du 22 août, page 295).

10° *Mort de M. Joly*, membre de la Société (voir le résumé de la séance du 5 septembre, page 299.)

11° *Produits céramiques exposés à Londres*, par M. Salvetat (voir le résumé de la séance du 5 septembre, page 299).

12° *Poids et valeurs des divers matériaux nécessaires pour la construction des tabliers des ponts métalliques* à une seule travée de 3 à 50 mètres d'ouverture par M. Houlbrat (voir le résumé de la séance du 5 septembre, page 300).

13° *Construction d'un wagon* employé, soit au transport des grandes pièces de bois, soit au transport des charbons et des minerais, par M. de Fernex (voir le résumé de la séance du 19 septembre, p. 309).

14° *Régulateur de foyer* pour machine à vapeur, par M. Tresca (voir le résumé de la séance du 19 septembre, page 310).

15° *Four à gaz* (voir le résumé de la séance du 19 septembre, page 310).

16° *Transport des dépêches*, au moyen de wagons roulant dans un tube, par M. Nozo (voir le résumé de la séance du 19 septembre, page 311).

17° *Pompes à incendie* de la ville de Londres, par M. Tresca (voir le résumé de la séance du 19 septembre, page 312).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Sageret, architecte, un exemplaire de son *Almanach annuaire des bâtiments*.

2° Le numéro de janvier 1862 de l'*Institution of Méchanical Engineers*.

3° De M. Friedrich Krupp, un exemplaire de sa *Notice sur les produits et les divers procédés de sa manufacture d'acier fondu*, à Essen.

4° De M. Desnos, membre de la Société, un exemplaire des numéros de juin, juillet, août et septembre de son journal *l'Invention.*

5° Les numéros de juillet, août et septembre du *Bulletin de la presse scientifique des Deux Mondes.*

6° De M. Dugué, ingénieur en chef du département de la Marne, un exemplaire de sa brochure sur la *Dérivation de la Somme-Soude et du Morin.*

7° De Son Excellence Monsieur le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, un exemplaire des *Notices sur les modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics qui figurent à l'Exposition universelle de Londres.*

8° De M. Aristide Dumont, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire de son *Projet pour alimenter Paris en eau de Seine.*

9° Les numéros de juillet, août et septembre du journal *the Engineer.*

10° De M. Lavezzari, membre de la Société, une note relative aux *Constructions en bois à double enveloppe.*

11° De M. Lefèvre, membre de la Société, de la part de M. Beau de Rochas, un exemplaire d'un mémoire sur la *Traction des bateaux fondée sur le principe de l'adhérence.*

12° De M. Gaget, membre de la Société, une note sur la *Navigation des canaux du nord de la France.*

13° De M. Bouquié, plusieurs documents sur son système de *traction des bateaux sur les canaux du Nord.*

14° Le numéro de juin et juillet 1862 des *Annales des Conducteurs des Ponts et Chaussées.*

15° Le numéro de la deuxième livraison des *Annales des Mines.*

16° De l'*Institut of civil Engineers*, l'exemplaire du 19e volume de leurs *Minutes* et *Procéedings.*

17° De la *Société industrielle d'Amiens*, des exemplaires d'un Questionnaire relatif à l'Exposition de Londres.

18° De M. César d'Aly, les numéros 3, 4, 5 et 6 de sa *Revue générale d'architecture.*

19° De M. Noblet, éditeur, les 78, 79, 80 et 81e livraisons du *Portefeuille de John Cockerill,* et la 3e livraisons de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie.*

20° De M. Louis Lazare, un exemplaire de la 2e livraison de ses *Publications administratives*.

21° Le numéro de juin du *Bulletin de la société d'encouragement*.

22° Le numéro de janvier, février, mars et avril de la *Revue des ingénieurs autrichiens*.

23° De M. Eugène Burel, membre de la Société : 1° les numéros 17 à 32 du journal *la Célébrité*, revue biographique, industrielle et artistique ; 2° une note sur un *Photomètre parasynoptique à indicateur instantané;* 3° une note sur l'*Indicateur de Watt*, perfectionné par M. Casartelli de Manchester.

24° De M. Frédéric Hubert, un exemplaire de son *Projet de budget des dépenses d'une compagnie de chemin de fer*.

25° De M. Jullien, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur la *Théorie de la trempe*.

26° De M. Gaudry, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur les travaux de M. Lebon d'Humbertin, ingénieur, inventeur du *Thermolampe*.

27° De M. de Fernex, membre de la Société, une note sur un *Wagon pouvant transporter des grandes pièces de bois ou de la houille*.

28° De M. Perret, membre de la Société, une note sur l'*Établissement de l'usine à gaz de la ville de Casale* (*Italie*).

29° De M. Georges Tardieu, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur *La pose et la manœuvre des signaux fixes du chemin de fer de Lyon*, par M. Marié.

30° De M. Oppermann, les numéros de juillet et août de son *Album pratique de l'art industriel;* des *Nouvelles Annales de la construction*, et du *Portefeuille économique des machines*.

31° De M. Pierre Chabat, les 19e et 20e livraisons de sa publication intitulée *Bâtiments des chemins de fer*.

Les Membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois de juillet :

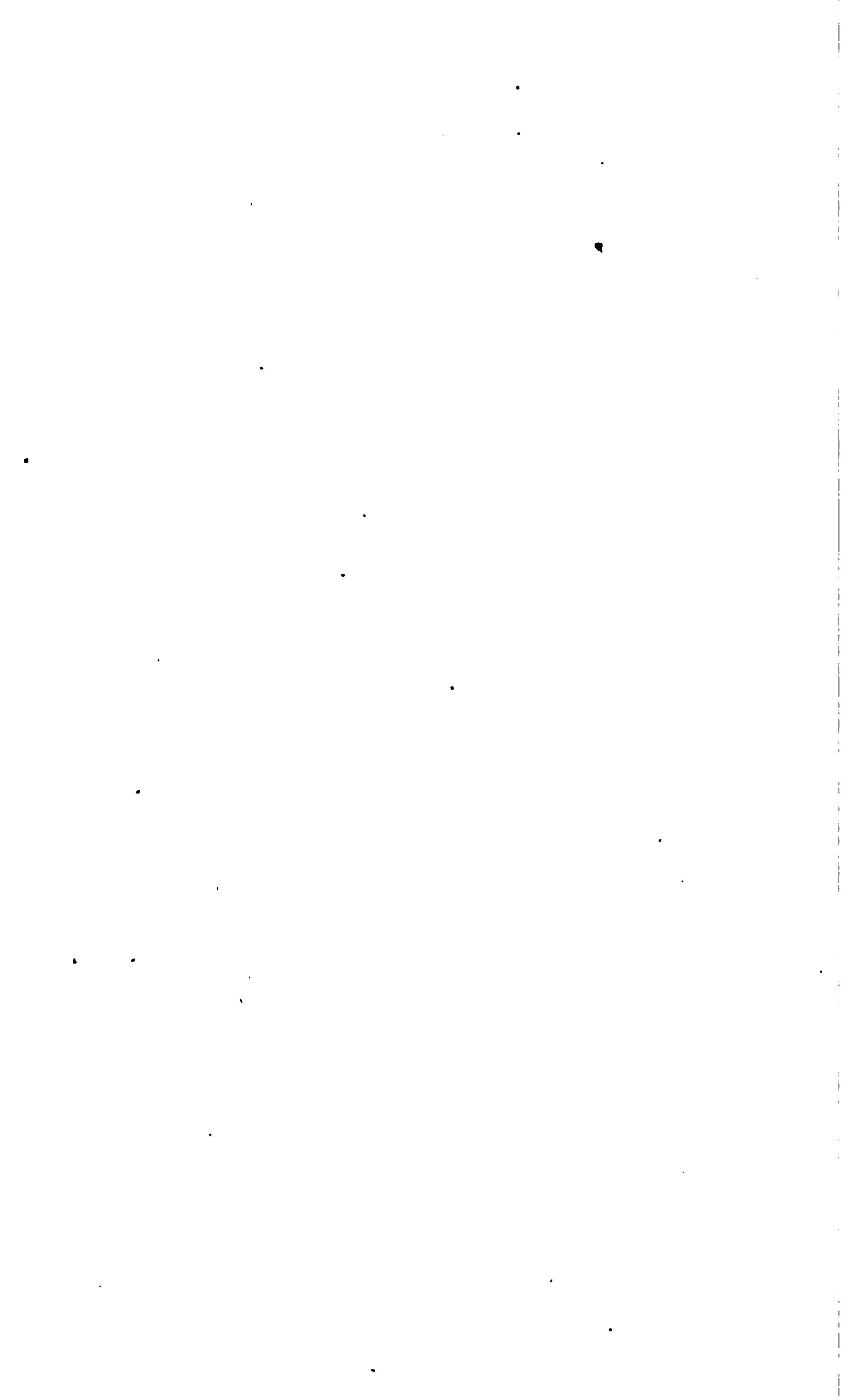
MM. Levy (Jules), présenté par MM. Donnay, Chavès et Letellier.
Rey, présenté par MM. Goschler, Molinos et Pronnier.
Derennes, présenté par MM. Alquié, Donnay et Desmousseaux de Givré.
Carcenat, présenté par MM. Faure, Alquié et Donnay.
De Bussierre, présenté par MM. Callon, Nozo et Mesmer.
Blanc Garin, présenté par MM. Eugène Flachat, Deligny et Verrine.

Au mois d'août :

MM. Jordan, présenté par MM. Faure, Ermel et Muller.
Sebillot, présenté par MM. Callon, Ermel et Verrine.
Brunier, présenté par MM. Burel, Callon et Girard.
Mathieu (Jules), présenté par MM. Armengaud aîné, Faure et Tresca.

Au mois de septembre :

MM. Laurenzano, présenté par MM. Faure, Salvetat et Tresca.
De Limoges, présenté par MM. Jullien, Yvan Flachat et Tresca.
Levy (Emmanuel), présenté par MM. Eugène Flachat, Guérin de Litteau et Adolphe Flachat.



RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE III[e] TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1862

Séance du 18 Juillet 1862.

Présidence de M. TRESCA.

M. LE PRÉSIDENT informe la Société que, pendant son séjour à Londres, il y a eu, le samedi de chaque semaine, une réunion des membres qui étaient venus visiter l'Exposition. Les procès-verbaux de ces séances seront imprimés et distribués.

Il donne ensuite quelques renseignements sur diverses parties de l'Exposition qui méritent particulièrement de fixer l'attention de la Société.

Sommaire des questions traitées par M. Tresca :

Travaux publics. — Exposition française du ministère des travaux publics. Cette exposition comprend les modèles d'ouvrages très-remarquables, exécutés depuis 1855 et attestant des progrès importants dans diverses branches de la construction. — Exposition anglaise : Modèle en relief du tracé du chemin de fer de Tudela à Bilbao, par M. Vignoles. Modèle du dock hydraulique de M. Edwin Clarke, exécuté à Victoria-Docks.

Métallurgie. — Description du procédé Bessemer ; emploi de la fonte du Rhin, à la fin de l'opération, pour obtenir une teneur en carbone plus régulière ; grenaillage dans l'eau pour l'acier de la meilleure qualité.

Machines. — Machine à fourreaux de Penn ; il y a dans les ateliers vingt machines en montage, dont les pièces principales sont entièrement exécutées sur les outils, sans aucun travail de lime. Machines locomotives : machines du Nord à quatre essieux couplés et appareil de séchage ; deux machines d'Engerth exposées par la compagnie des chemins de fer autrichiens. Machines outils : celles de l'Exposition, anglaises, remarquables par leurs dimensions plus considérables et par leur destination, de plus en plus spécialisée ; outils à fraise, plus généralement employés ; machines à bois dont la construction emprunte les dispositions des machines à métaux.

Machines à vapeur. — Celles de l'exposition française présentent en général des conditions préférables, au point de vue de l'économie du combustible; cependant, en Angleterre, on cherche maintenant à augmenter beaucoup la détente; diverses dispositions de machines horizontales sur le principe de Woolf; machines dans lesquelles la vapeur est surchauffée pendant son passage du petit au grand cylindre (machine fixe de May, machine locomobile de Wenham); dans celle-ci, on n'aurait dépensé que 10 kil. de vapeur par heure et par cheval. Il paraîtrait que l'Amirauté fait construire une machine sur ce principe, où la même vapeur est utilisée quatre fois; la marine française fait en ce moment des essais analogues avec trois cylindres. Ces essais ressemblent beaucoup à ceux qui ont été récemment faits en France par M. Normand.

M. Dubied indique que les premiers essais de surchauffe de la vapeur entre le petit et le grand cylindre remontent en France à une époque déjà ancienne, une machine de ce système fonctionnait, il y a quinze ou seize ans, dans les ateliers de M. J.-J. Meyer, à Mulhouse.

Les procès-verbaux des séances tenues à Londres entrant dans des détails circonstanciés sur la plupart de ces questions, il a paru suffisant de les énoncer seulement dans le procès-verbal actuel.

M. Breguet présente un petit appareil, inventé par M. Combettes, et qui est destiné à faire connaître, dans chaque compartiment d'un train de chemin de fer, le nom de la première station où le train s'arrête. Sur l'invitation de M. le Président, M. Breguet s'engage à remettre une notice descriptive du mécanisme de cet appareil.

M. Faure rend compte des principales dispositions imaginées par M. Bouquié pour son système de touage sur les canaux et le passage des écluses.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Lefèvre accompagnant l'envoi d'un mémoire de M. Baud de Rochas, sur un système de touage sans chaîne noyée; et d'une lettre par laquelle M. Gaget dépose un mémoire sur la navigation des canaux du Nord.

Ces documents, réunis à ceux analysés par M. Faure, seront tenus à la disposition des membres de la Société, et la discussion sur l'ensemble des divers procédés de navigation sur les canaux sera portée à l'ordre du jour d'une des plus prochaines séances.

Séance du 8 Août 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. le Président, conformément à la décision prise par le Comité, donne lecture d'une lettre qu'il a reçue de M. Perdonnet, au sujet de la création d'une *Société des anciens élèves de l'École centrale.*

Il résulte de cette lettre que cette Société amicale des anciens élèves de l'École centrale a exclusivement pour objet d'établir des liens de camaraderie entre tous les

anciens élèves de cette École, mais qu'elle ne s'occupera en aucune façon d'études ni de travaux techniques.

M. le Président donne ensuite communication d'une lettre de M. Théophile Guibal, membre de la Société, professeur à l'École des mines du Hainaut, qui adresse à la Société un exemplaire d'une médaille en bronze qui vient de lui être offerte par les anciens élèves de cette École, comme témoignage d'estime et de reconnaissance, après vingt-cinq années d'enseignement.

M. Mazilier donne communication d'un mémoire sur son système de voie à éclisses-tables entièrement en fer.

L'étude simultanée de problèmes d'importance majeure en fait de voies ferrées : e mploi exclusif du fer ; la continuïté de support et solidarité complète des rails les uns avec les autres a conduit à la voie à éclisses-tables.

Cette voie se compose d'un rail ou pièce à surface de roulement, et de deux éclisses serrées contre le rail et munies d'une table à leur partie supérieure. C'est par l'intermédiaire de ces tables que le système porte directement sur le ballast. La table intérieure à la voie est abaissée pour laisser passer librement le boudin des roues. L'écartement des files de rails est maintenu par des entretoises en fer à T.

Les éclisses-tables sont disposées par tronçons d'une longueur plus ou moins grande.

Les avantages du système peuvent se résumer ainsi :

1° Absence absolue de bois et de fonte.

2° Emploi possible d'une partie de l'ancien matériel.

3° Possibilité d'un support continu.

4° Éclissage parfait.

5° Grande stabilité. — Elle résulte de ce que la surface d'appui est aussi rapprochée que possible de la surface de roulement, et aussi de la grande rigidité du système.

6° Suppression des inconvénients du retournement.

7° Réduction des frais d'entretien et de remaniement de la voie.

8° Augmentation de la durée des rails, soumis à un mode de travail évidemment avorable à leur conservation, et de plus bien éclissés, soutenus en tous leurs points.

9° Grande douceur de la voie, par suite du peu de flexion, sans désaffleurement ni dénivellation des abouts de rails ; par suite, réduction des frais d'entretien du matériel roulant, et de la dépense de combustible si intimement liés à l'état de la voie.

10° Diminution des chances d'accidents, et atténuation des conséquences fâcheuses d'un déraillement, par rupture de quelque partie de la voie.

On a fait au système les objections ci-après :

1° Importance de la dépense. — Les prix de la voie à coussinets éclissée, de la voie Barlow et de la voie à éclisses-tables, sont respectivement :

Voie à coussinets.	28 fr. 02
Voie Barlow.	25 25
Voie à éclisses-tables.	32 72

par mètre courant de voie simple ; cette différence de prix d'établissement est compensée par trois causes de réduction de dépense : 1° réduction des frais d'entretien ; 2° économie de ballast ; 3° valeur intrinsèque de la voie à éclisses-tables. — Dans l'impossibilité où l'on est de calculer exactement l'économie sur l'entretien en général, nous nous bornerons, dit M. Mazilier, à tenir compte seulement de celle qui résulte de la suppression du renouvellement des traverses, en leur supposant une durée de 10 ans et un prix de 6 fr., et d'une réduction de 15 centimètres de ballast. C'est une économie

certaine de 10 fr. que présente l'emploi du système de voie à éclisses-tables, sous ces deux rapports. Il faut donc diminuer cette somme de celle que nous avons trouvée pour son prix d'établissement, dans la comparaison précédente. Ce qui donne le tableau suivant :

Voie à coussinets.	28 fr. 02
Voie Barlow.	25 25
Voie à éclisses-tables.	22 72

Le Mémoire établit aussi les calculs comparatifs du prix de remplacement d'une voie à coussinets, par une voie Vignoles, et de celui de l'application à la même voie du système des éclisses-tables :

Le premier est.	9 fr. 41
Le second.	6 48

2° Difficulté de fabrication du rail type à âme mince, ainsi que des éclisses-tables. — De l'aveu d'un des plus grands producteurs de rails de France, la fabrication de ces pièces dont le profil serait peu modifié n'offrirait aucune difficulté.

3° Difficulté de pose en courbes et de remplacement des rails. — Cette difficulté disparaît avec l'emploi des éclisses, par tronçons de faible longueur.

4° Difficulté de serrage des boulons. — Elle est facile à éviter par l'emploi d'un boulon, dont la tête serait remplacée par une tige terminée par un carré, dépassant le bord de la table extérieure.

5° Inconvénients résultant de la dilatation, — auxquels on remédie en ovalisant les trous de boulons.

6° Déversement d'une file de rails. — Un tracé comparatif de la voie à éclisses-tables et des voies à support continu montre que la première est dans des conditions de stabilité beaucoup plus favorables que les autres, en supposant que le ballast ne puisse se dérober.

7° Glissement de la voie. — Le glissement ne peut se produire à cause du frottement énorme qu'il développerait, toutes les pièces étant solidaires les unes des autres.

8° Déformation des tables. — Il suffit, pour y remédier, de les renforcer dans l'angle aux dépens de leur épaisseur au bord.

9° Difficulté du bourrage du ballast. — La somme des largeurs des tables étant égale à celle d'une traverse, et le corps du rail faisant obstacle au milieu, le tassement du sable devra être aussi facile que dans les voies actuelles.

10° Écrasement du champignon supérieur.

11° Oxydation des tables. — Les éclisses-tables devront participer de cette faculté de conservation que possèdent les rails en service, ainsi que les pièces qui sont liées avec lui, les éclisses ordinaires, par exemple.

12° Effets fâcheux de la neige amoncelée sur les tables. — La neige ne sera d'aucun embarras sur les tables, elle ne sera jamais assez dure pour qu'un boudin de roue de locomotive ne puisse l'entamer. Les tables n'ajouteront rien aux inconvénients que produit la neige sur les voies actuelles.

M. Perdonnet présente diverses observations : il est difficile de serrer l'écrou ; le ballast n'étant pas élastique, la voie sera peut-être dure; la fabrication du rail-type est difficile, les rails à double champignon à cause de leur forme ne peuvent être obtenus dans de bonnes conditions d'exécution ; il y a un inconvénient à une dépense de premier établissement plus considérable que celle à faire pour une voie ordinaire ; il est à craindre que tous les ballasts ne puissent être employés, qu'il faille certaines

natures de gravier ; le bourrage n'est pas commode, l'écrasement du champignon peut se produire contre l'éclisse-table.

M. Mazilier fait remarquer que dans son mémoire il a prévu la plupart de ces objections, et que l'expérience pourra seule prononcer sur quelques autres ; qu'en ce qui concerne l'écrasement du champignon, il n'est pas à craindre, puisque la pression par centimètre carré est beaucoup plus faible que celle qui existe par la voie avec coussinets.

M. Goschler croit qu'on devrait craindre le déplacement d'une voie qui ne serait pas encastrée dans le ballast ; la voie ne peut pas être réglée, l'entretoise lui paraît insuffisante pour maintenir l'inclinaison des rails ; de plus, si on compte sur le ballast pour maintenir la voie, il peut se faire qu'une forte pluie entraîne ce ballast, et qu'alors il n'y ait plus aucune sécurité, ce qui ne peut jamais se produire sur la voie avec traverses.

M. Mazilier ne croit pas qu'il soit nécessaire d'avoir recours à des entretoises plus fortes que celles qu'il a adoptées, le bourrage permettant de régler l'inclinaison.

L'effet de déversement est beaucoup moins puissant avec les éclisses-tables qu'avec les autres systèmes, ainsi que le démontrent des tracés graphiques qu'il présente à la Société.

Quelques membres font observer que ces tracés ont été faits en supposant une parfaite fixité du ballast, et une résistance indéfinie à ce ballast, ce qui n'a pas lieu.

M. le Président remercie M. Mazilier de sa communication.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Desmousseaux de Givré sur les meules d'émoulage.

M. Desmousseaux n'ayant pu assister à la séance, M. Ermel, chargé de donner communication de cette note, regrette beaucoup pour la Société que ce travail ne puisse être communiqué par son auteur, qui l'aurait certainement présenté avec beaucoup plus de clarté.

Les renseignements, que M. Desmousseaux a puisés aux sources les plus diverses, lui ont indiqué les deux faits suivants :

1° Les meules d'émoulage n'éclatent généralement pas lorsqu'elles sont neuves, mais au contraire lorsque leur diamètre a été réduit d'une quantité parfois considérable.

2° La plupart, ou du moins un grand nombre de meules qui ont éclaté, avaient été essayées à une grande vitesse.

Dès lors il est naturel de supposer que, contrairement à l'opinion généralement répandue, c'est vers le centre de la meule que les tensions développées par le mouvement de rotation acquièrent le plus d'intensité, qu'ainsi c'est vers le centre que la meule commence à se crevasser, et que si elle résiste encore, même à grande vitesse lorsque son pourtour est sain, elle éclatera nécessairement lorsque cette portion saine sera suffisamment usée.

On déduit donc des faits précédents confirmés par les calculs fort intéressants de M. Desmousseaux de Givré : que l'essai à grande vitesse adopté par la plupart des constructeurs n'offre aucune garantie, qu'il augmente au contraire les chances d'accidents. Il serait préférable d'y substituer des essais à la vitesse de la marche ordinaire que l'on répéterait chaque fois que l'on augmenterait la vitesse par suite de la réduction du diamètre de la meule par l'usure.

M. Desmousseaux donne ensuite dans son travail la construction des meules du système Picard, qui, selon lui, n'ont pas les mêmes inconvénients que les meules ordi-

naires. Les meules de ce système sont formées de voussoirs en pierre taillés en forme de queue d'aronde et montés sur une roue en fonte.

Ce système de meules présente plusieurs avantages :

1° On peut renouveler en deux ou trois heures tous les voussoirs d'une meule.

2° Il procure une économie notable, car les déchets de pierre sont moindres.

3° La sécurité est plus grande, puisque la pierre travaille à une moindre tension que dans le système ordinaire.

4° Les accidents sont moins graves, car la rupture d'un voussoir n'entraîne pas celle de toute la meule.

5° Enfin on a la facilité de monter la meule avec des voussoirs ayant un grain parfaitement homogène et convenable au travail à faire.

L'auteur de la note indique qu'en s'appuyant sur la théorie mathématique de l'élasticité de M. Lamé, on trouve que, pour les meules ordinaires de $1^m,25$ de diamètre extérieur, maintenues entre deux tourteaux en fonte de 0,50 de diamètre, la tension de la pierre, au pourtour des tourteaux en fonte, est de 4 à 12 kilog. par centimètre carré de section, pour des vitesses de 134 et 223 tours par minute. Si les tourteaux en fonte ne sont pas fortement serrés, la tension croît à 6 de 12 kilog. pour ces mêmes vitesses. En appliquant les formules aux meules Picard de même diamètre, ayant une roue en fonte de $1^m,00$ de diamètre, on trouve pour les mêmes vitesses des tensions de 1 à 3 kil. seulement. On voit par là le grand avantage des meules évidées sur les meules pleines.

M. Desmousseaux termine son Mémoire en indiquant les résultats d'expérience que M. Nozo a fait exécuter au chemin de fer du Nord, sur des prismes découpés dans des meules cassées. Ces prismes se sont rompus sous un effort variant de 7 à 15^k par centimètre carré de section, suivant que le grain était gros ou fin. On voit dès lors le danger de faire tourner une meule trop vite dans les essais, car on peut dépasser la limite d'élasticité de la pierre, et par suite faire naître des fissures, qui, au bout d'un certain temps de marche, détermineront l'éclat de la meule.

M. le Président remercie M. Ermel d'avoir bien voulu analyser cette communication, qui sera discutée dans une prochaine séance, au retour de M. Desmousseaux de Givré.

M. Arson présente à la Société un échantillon de fonte qu'il a rapporté d'Angleterre, et qui provient d'un changement de voie tout en fonte moulée, dont la paroi fatiguée est obtenue, d'après les renseignements recueillis, par un moulage en coquille, tandis que le reste de l'appareil est obtenu par un moulage au sable.

M. Goschler a vu en Angleterre les changements de voie dont il s'agit et qui commencent à être très-employés, mais il n'a pu se rendre un compte exact du mode de moulage employé, et on lui a dit qu'il y avait soudure d'un alliage différent sur la fonte ordinaire.

M. Tresca fait observer que l'on voit parfaitement sur l'échantillon la couture produite au point de contact des deux moules.

M. Steger croit que les renseignements recueillis par M. Arson sont exacts ; il faut simplement une nature de fonte spéciale ; en Allemagne on fabrique des roues en fonte dont la partie extérieure est trempée par un procédé analogue.

M. Arson fait connaître l'accident arrivé, ces jours derniers, a un réservoir en fonte de 16 mètres de diamètre et de 6 mètres de hauteur, composé de panneaux comme à l'ordinaire. Lorsqu'on l'a rempli d'eau, une fissure s'est déclarée ; mais comme il était tard, on n'a pas pris le temps de faire les réparations immédiatement, et le

lendemain matin, le réservoir a éclaté en produisant un bruit considérable avec projection de débris à vingt mètres de distance. On a cherché les causes de cette rupture, sans trouver d'explication bien plausible.

Le constructeur avait calculé les épaisseurs, de sorte que l'effort fût en tous les points de 2 kilogrammes par millimètre carré; on ne peut donc pas admettre que la charge ait été exagérée.

Mais dans le montage on avait mis entre les panneaux de petites cales entre les portées venues de fonte : il y a eu probablement excès dans le serrage.

M. le Président, en remerciant M. Arson de sa communication, et en l'invitant à vouloir bien rédiger une note un peu plus détaillée, rappelle que les bulletins de la Société ont rendu compte déjà de quelques faits analogues, et qu'il conviendrait de rapprocher ces faits les uns des autres.

MM. Jordan et Sébillot ont été reçus membres de la Société.

Séance tenue à Londres, le 17 Mai 1862.

Présidence de M. Tresca.

Étaient présents à la séance :

Invités : MM. le baron Séguier, le contre-amiral Paris, J. Mathieu et Agudio.

Membres honoraires : MM. le général Morin et Perdonnet.

Membres sociétaires : MM. Tresca, président; Achard, Alcan, Birlé, Coignet, Dru, Farcot, Faure, Foucou, Goschler, Guillaume, Manby, de Mastaing, H. Mathieu, Trélat, Verrine.

M. le Président rappelle l'objet des réunions qui doivent avoir lieu à Londres, pendant l'Exposition. Au point de vue des mémoires qui doivent être présentés à la Société, il importe qu'il soit fait une division du travail entre les membres qui sont venus visiter l'Exposition. Cette division n'est pas possible avant que chacun de ces membres ait fait connaître les points qui lui paraissent mériter plus particulièrement de fixer l'attention.

Cette première séance sera consacrée à cet examen.

M. Mathieu fait connaître qu'il vient de Sheffield, où il a assisté, dans l'usine de MM. Brown et Cie, à la fabrication de l'acier par le procédé de Bessemer.

Il indique ensuite le mode de fabrication dont il a été témoin à Sheffield; il le décrira plus exactement dans une note détaillée qu'il se propose de donner à la Société sur ce procédé qui lui paraît d'une grande importance pour la métallurgie de l'acier.

M. le général Morin fait remarquer que l'indication de provenance d'Écosse ne suffit pas pour faire connaître la nature de la fonte, qui est très-variable, non-seulement d'une usine à l'autre, mais encore pour les fontes portant le même numéro dans le commerce. Pour pouvoir comparer l'acier Bessemer aux autres produits, il serait nécessaire de voir comment il se comporte à la trempe.

M. le baron Séguier rappelle le procédé employé par Girard, contre-maître à Seraing, qui obtenait une amélioration notable des qualités de l'acier, en le trempant

au rouge cerise dans une composition spéciale. Depuis, on a lu à la Société d'encouragement un mémoire d'après lequel il suffirait de tremper une ou plusieurs fois au rouge cerise dans l'eau bouillante pour obtenir cette même amélioration. Il serait intéressant de savoir si, dans ces opérations, il y avait seulement un changement d'état moléculaire.

M. TRESCA appelle l'attention sur des fers durs qu'il a remarqués à la dernière exposition agricole et qui étaient obtenus par M. Daire, maître de forges à Amiens, par un traitement particulier des riblons portés directement au pilon après qu'ils avaient été empâtés de fonte. Il y aurait intérêt à étudier cette fabrication en Angleterre.

M. MANBY indique que les aciers Bessemer ont été pendant longtemps des produits fort inégaux. Des ressorts de voitures, qui s'étaient d'abord bien comportés, cassaient brusquement par l'effet d'un changement de température. M. Brown, de Sheffield, a modifié récemment les détails de la fabrication ; il a obtenu de meilleurs produits ; cependant les aciers Bessemer ne sont pas encore reçus dans les fournitures des chemins de fer.

M. H. MATHIEU répond que l'on obtient une qualité supérieure d'acier, à l'usine de MM. Brown et Cie, au moyen d'une seconde fusion. Dans son opinion, l'acier Bessemer a des qualités suffisantes pour un grand nombre d'applications qui exigent, avant tout, une matière première à bon marché.

M. LE GÉNÉRAL MORIN a entendu souvent exprimer l'avis que le procédé Bessemer devait donner des produits irréguliers, à cause de l'absence de caractères bien tranchés marquant la fin de chaque opération. Mais, dans les autres procédés de la métallurgie, les résultats sont tout aussi irréguliers, et ce n'est qu'au moyen de triages répétés qu'on peut arriver aux qualités qu'on désire.

M. FAURE confirme cette opération ; il pense qu'on s'exagère les chances d'incertitude dans le procédé Bessemer ; le danger surtout est d'avoir des déchets trop considérables. Nous ne tarderons pas d'ailleurs à avoir des données positives sur cette fabrication, qu'on installe en France dans plusieurs usines, et notamment chez MM. Petin et Gaudet, à l'usine de Terre-Noire, et chez M. James Jackson.

M. DE MASTAING est d'avis que le procédé Bessemer ne peut donner de l'acier de bonne qualité. Dans le traitement de la fonte pour acier, il faut faire autre chose qu'une décarburation ; dans les feux d'affineries, l'addition de scories plus ou moins riches permet à l'ouvrier de conduire à son gré l'opération, en employant le temps et les réactifs nécessaires pour brûler et séparer les matières étrangères nuisibles. Au contraire, dans le procédé Bessemer, l'on brûle tout sans discernement. La cémentation et le feu d'affinerie sont donc les seuls moyens d'obtenir régulièrement des produits de bonne qualité.

M. PERDONNET indique que l'acier fondu paraît devoir être abandonné pour les ressorts comme trop cassant.

M. LE GÉNÉRAL MORIN cite le fait suivant, comme un exemple de la ténacité que peut présenter l'acier doux. On emploie cet acier pour cercler les canons en fonte, en plaçant, à chaud, les cercles tournés à un diamètre un peu plus faible que celui du canon ; l'un de ces cercles a été placé, comme essai, avec un serrage de 5 millimètres, et il a pu résister à l'énorme tension qui en résultait, malgré un abaissement de température de 18°. Cette expérience montre que ce qu'on appelle acier puddlé se rapproche souvent beaucoup du fer doux.

M. le Président appelle l'attention sur la question de la fusibilité du fer. Certains métallurgistes pensent que la seule fusion du fer pourrait transformer ce corps en acier. Cette question pourrait se rattacher à l'étude du procédé Bessemer.

M. Agudio demande à donner quelques explications sur un système de chemin de fer de montagnes à traction funiculaire, dont il a exposé un modèle; il est décidé que l'examen du modèle par ceux des membres qui pourront y assister aura lieu le mardi 20 courant, à une heure et demie.

M. Perdonnet signale à l'attention des membres qui s'occupent de locomotives les deux machines exposées par la Compagnie des chemins de fer de l'État autrichien. L'une de ces machines présente un système particulier d'accouplement des deux essieux non parallèles; dans l'autre machine, on a attelé quatre cylindres sur le même essieu. Il serait utile de pouvoir discuter ces dispositions à la prochaine séance.

M. Goschler pense qu'il serait également utile de discuter les dispositions du foyer Tembrinck qui a été appliqué à la machine exposée par la Compagnie d'Orléans.

M. le Président a été particulièrement frappé de l'inclinaison de la grille dans le foyer Tembrinck. Lors de l'exposition de Metz, il a visité deux usines où l'on faisait usage d'une disposition analogue avec une entière efficacité.

M. Perdonnet répond que la grille inclinée a été essayée sans succès au chemin de fer de l'Est, ce qui tient sans doute aux qualités très-différentes des combustibles; seule, elle est inefficace; le bouilleur du foyer Tembrinck ne saurait être supprimé.

M. Faure indique que deux des générateurs de l'Exposition sont, pour ainsi dire, l'injection de la vapeur dans le foyer d'après la disposition de M. Clarke, qui a donné une complète fumivorité.

M. le baron Séguier, avec d'autres membres de la Société, a visité, rue de la Pompe, à Paris, un foyer où l'on obtenait la fumivorité en faisant arriver sur le combustible un jet de vapeur surchauffé. L'action de ce jet de vapeur était immédiate et pouvait être observé au moment du chargement en fermant un instant le robinet de vapeur; il se produisait alors une épaisse fumée qui disparaissait dès qu'on faisait fonctionner de nouveau l'appareil.

M. le Président a obtenu au Conservatoire une fumivorité parfaite, au moyen de cet appareil de M. Thierry; mais les résultats économiques n'ont pas été favorables, et l'on a même été conduit à un léger excédant de dépense.

A Mulhouse, où des expériences très-suivies ont été faites à l'occasion d'un concours, on a été conduit à ce résultat qu'avec une chaudière ordinaire il faut, pour économiser le combustible, se limiter à une quantité d'air même inférieure à la quantité théorique. Il y a, au contraire, tout avantage à employer un grand excès d'air, si l'on peut abaisser les gaz brûlés à une basse température, comme on le fait au moyen des réchauffeurs.

M. le général Morin appelle l'attention sur l'étude de la fumivorité dans les foyers domestiques; il serait utile d'examiner si l'Exposition renferme quelques appareils ayant pour but d'obtenir ce résultat.

Il est décidé que la prochaine réunion aura lieu le samedi 24 mai.

Séance du 22 Août 1862.

Présidence de M. TRESCA.

M. LE PRÉSIDENT annonce que MM. Delpèche, Gayrard, Gentilhomme, Mathias (Ferdinand) et Michelant, membres de la Société, viennent d'être nommés chevaliers de la Légion d'honneur.

M. GALLAUD communique à la Société une description du photomètre parasynoptique à indicateur instantané de M. Burel.

Il dit que M. Burel regrette de n'avoir pu offrir la primeur de cette communication à la Société dont il n'avait pas l'honneur de faire partie à cette époque. C'est à l'Académie des sciences de Rouen que cet appareil a été présenté pour la première fois en 1853.

Le précis des travaux de cette compagnie renferme sur la photométrie un très-intéressant travail de M. Boutin où il est question de l'invention de M. Burel.

Depuis lors, il a beaucoup perfectionné son instrument, principalement au point de vue de sa manipulation pratique; il ne l'a jamais produit tel qu'il est aujourd'hui, et tous les auteurs qui en ont parlé ne l'ont fait que d'après le précis des travaux de l'Académie de Rouen.

Voici en quoi consistent les principaux caractères de l'appareil perfectionné que M. Burel présente à la Société.

1° Au papier taché d'huile il a substitué un papier filigrane, dont le dessin au moment de l'éclipse se perçoit mieux que la teinte plate de la tache.

2° Il a établi la *solidarité de l'écran avec la lumière type et tracé l'échelle photométrique sur la règle portant tout le système.*

Les points de l'échelle ont été déterminés par la formule $x = d\sqrt{n}$ dans laquelle d est la distance constante de l'écran à la lumière type, et n est un multiple ou un sous-multiple de la lumière type, et x la distance entre l'écran et la lumière à essayer.

On peut ainsi lire sur l'échelle le résultat immédiat des observations sans avoir à faire des calculs longs et sujets à erreurs.

3° *Application du miroir pour percevoir d'un seul coup d'œil les images des deux faces de l'écran.*

On peut ainsi, sans se déranger, saisir instantanément le moment de l'éclipse.

4° Enfin la construction générale de l'instrument l'a rendu portatif. La faculté d'y faire des expériences par un système analogue à celui de la double pesée et dans la pratique usuelle de faire constater la valeur d'une lumière quelconque par le premier venu, même ignorant les lois les plus élémentaires de la physique.

M. ARSON indique que l'appareil dont il vient d'être question, et auquel M. Burel a apporté les modifications que la Société vient d'entendre, est dû à M. Bunsen. En laissant de côté les modifications de M. Burel, qui ne changent pas le principe de l'appareil, M. Arson dit que cet instrument est beaucoup moins sensible que le photomètre de M. Foucault qui lui est préféré généralement. D'autres appareils dus à MM. Dumas et Regnault résolvent aussi complétement la question.

M. le Président pense que l'appareil Bunsen par suite de sa grande simplicité peut rendre de d'énormes services; que, placé entre des mains inhabiles, il donnera de meilleurs résultats qu'un instrument plus parfait mais aussi plus compliqué. A l'appui de cette opinion, M. le Président cite les expériences qu'il a été chargé de faire à la Chambre des députés pour savoir quelle était la puissance du nouvel éclairage de la salle. On a opéré au moyen d'un papier placé entre une lampe Carcel et la source lumineuse qui éclaire la salle par le plafond. M. Tresca a trouvé par ce moyen que chaque député était éclairé comme s'il recevait la lumière d'une lampe Carcel placée à deux mètres de distance. L'expérience répétée cinq fois n'a donné qu'une variation de 2 millimètres, tout à fait négligeable dans la mesure de la distance.

M. le Président ajoute que pour sa vue le meilleur procédé photométrique est celui de la comparaison des ombres, et que c'est celui qui lui a toujours le mieux réussi, surtout en ayant soin de rapprocher les deux ombres suffisamment pour les faire toucher sur une assez grande longueur sans cependant leur permettre de se croiser.

M. Arson répond que l'appareil Bunsen peut donner de bons résultats entre les mains de très-bons expérimentateurs, mais que placé entre celles de gens inexpérimentés il se prête à plus d'incertitude que l'appareil Foucault.

M. Arson ajoute que l'appareil de M. Foucault n'est pas compliqué et qu'il repose comme celui de Bunsen sur le principe des deux ombres. M. Foucault a remplacé dans son photomètre le papier employé par Bunsen, par une glace recouverte d'une mince couche d'amidon, qui a le grand avantage de très-bien s'éclairer, sans laisser passer le moindre rayon direct, qui gênerait l'œil pour l'appréciation des ombres ; cet effet n'est pas obtenu avec le papier, qui présente toujours quelques interstices, et qui d'ailleurs est constitué de corps opaques s'éclairant beaucoup moins bien et ne permettant pas l'appréciation des différences aussi faibles que celles qu'on peut constater avec l'amidon.

M. le Président fait remarquer que la couleur même de la lumière influe notablement sur les ombres. Il cite à cet effet les expériences qu'il a eu occasion de faire avec MM. Masson et Becquerel pour comparer les pouvoirs éclairants de foyers lumineux de différentes nuances.

Il s'agissait de déterminer le rapport entre les intensités de la lumière d'une lampe Carcel et celle d'une lampe électrique : ces lumières étaient de teintes si différentes que la détermination directe était impossible, l'une paraissant entièrement bleue par rapport à l'autre, qui était rouge. Au moyen d'un verre rouge convenable, interposé entre la lumière électrique et l'observateur, on a pu ramener les deux images au même ton et arriver à une comparaison entre la lumière de l'huile et celle du courant électrique, ainsi affaiblie. En plaçant ensuite un verre bleuâtre devant l'autre lumière, une seconde comparaison a pu être faite entre l'intensité naturelle de la lumière électrique et l'intensité affaiblie de la lumière ordinaire. Le rapport vrai était nécessairement compris entre les deux chiffres successifs, et c'est ainsi que l'on a pu reconnaître qu'il n'était pas très-éloigné du nombre 200.

M. le Président indique quelques résultats d'expérience obtenus sur les nouveaux théâtres de la place du Châtelet. Ces théâtres, dont les décorations sont fort belles, ont été disposés pour être éclairés par un plafond lumineux afin de supprimer le lustre, qui fatigue et gêne la vue d'une portion notable des spectateurs. Le plafond lumineux du théâtre du Cirque occupe environ une surface égale aux deux tiers de celle de la salle. Il est formé par des verres doubles blancs et dépolis, qui ont été décorés afin

d'en rendre l'aspect plus agréable; ils sont soutenus par une carcasse en fer très-légère. Au-dessus se trouve une toile métallique pour empêcher les accidents que pourraient causer la rupture des verres par les corps qui tomberaient accidentellement sur ce plafond. L'éclairage de la salle, qui est très-brillant, se fait au moyen de 1,200 becs de gaz disposés suivant des rayons et des circonférences concentriques. Tout autour de ces becs se trouvent des réflecteurs trapézoïdaux à charnières, placés à 45 degrés, qui forment les faces d'une pyramide tronquée ayant un grand nombre de côtés, et englobant toute la surface du plafond lumineux. On avait pensé faire ces réflecteurs en métal argenté, mais devant le prix énorme de 400,000 francs demandé par le constructeur, on se contenta de les faire en plaques émaillées. D'autres petits réflecteurs existent pour les becs qui se trouvent au centre du plafond. Les 1,200 becs servant à l'éclairage de la salle dépensent par heure 250 mètres cubes de gaz, c'est-à-dire environ dix fois plus qu'un lustre : ces 250 mètres cubes représentent une somme de 37 fr. 50 c. par heure; et comme on peut admettre 6 heures d'éclairage par soirée, la dépense journalière peut être évaluée à 225 francs. Cette dépense considérable n'est pas entièrement employée à l'éclairage, car elle produit la ventilation.

Pour arriver à ce but, on a, suivant les indications de M. le genéral Morin, placé en prolongement des réflecteurs une large cheminée, qui chauffée par la combustion du gaz, sert à faire un appel dans la salle au moyen de conduits, qui viennent prendre l'air par des grilles placées dans le plafond de chaque loge et sous le parterre. Pendant que l'air vicié sort par ces grilles, l'air neuf entre dans la salle par une ouverture grillée régnant autour du rideau sur une largeur de 1 mètre environ. Une deuxième arrivée d'air a lieu par un grillage de 1^{m},20 de largeur, et dont la longueur occupe toute la largeur de la scène devant la rampe. Enfin une troisième entrée d'air existe sur le pourtour de la salle, au moyen d'un faux plancher régnant sous tout l'amphithéâtre du premier étage.

D'après de nombreuses expériences faites au Conservatoire, M. le général Morin et M. Tresca sont convaincus qu'un mètre cube de gaz brûlé dans une cheminée peut produire un appel de 1,000 mètres cubes d'air : on devrait donc avoir au théâtre du Cirque une ventilation de 250,000 mètres cubes d'air par heure, et comme le théâtre peut contenir 2,800 personnes, c'est environ 90 mètres cubes d'air que pourrait recevoir chaque spectateur. D'après les premières expériences, qui demandent à être confirmées, on n'a trouvé dans la cheminée d'appel qu'un volume au maximum de 100,000 mètres cubes par heure, ce qui correpond à 36 mètres cubes par personne, volume supérieur à celui exigé du constructeur par son traité.

A côté de ces résultats satisfaisants, cette ventilation présente certains inconvénients graves, qui paraissent difficiles à éviter, tels que la variation de la ventilation qui coïncide avec celle de l'éclairage, et comme ce dernier est beaucoup plus considérable pendant l'entr'acte que pendant le jeu de la scène, il s'ensuit aussi que la ventilation est plus énergique à ce moment. Le second inconvénient grave est l'entraînement par la ventilation, vers le spectateur, des fumées produites sur la scène par la combustion de la poudre dans les armes à feu; cet inconvénient ne pourra être bien jugé que par la représentation d'un drame militaire, mais les projets primitifs avaient prévu ces difficultés et leur avaient donné une solution satisfaisante.

M. le Président ajoute qu'en hiver l'air, avant d'affluer dans la salle, passera en partie ou en totalité dans des calorifères à air chaud, placés dans les caves, qui lui communiqueront la température nécessaire pour entretenir dans la salle un degré de chaleur convenable.

M. LE PRÉSIDENT termine sa communication en indiquant les expériences thermométriques obtenues au théâtre du Cirque le jour de l'ouverture. La température extérieure étant de 18°, les thermomètres ont accusé 22 à 23° dans la salle, suivant qu'on prenait leurs indications au commencement ou à la fin d'un acte. A la fin d'un acte plus long que les autres, on a constaté 24°. Enfin, dans le canal général allant à la cheminée d'appel, on a trouvé 25°.

M. LE PRÉSIDENT demande si la communication faite à l'Académie des sciences le 18 de ce mois par M. Frémy ne donne lieu à aucune observation. — Le titre de cette communication : « *Sur la production de l'acier des fontes françaises, considérées jusqu'à présent comme aciéreuses,* » étant des plus intéressants.

M. LIMET dit qu'il est impossible, quant à présent, de discuter la communication de M. Frémy, qui annonce, il est vrai, des résultats inattendus, mais qui ne donne aucune indication sur les procédés employés.

Toutefois, il est bon de signaler que la discussion va enfin sortir du domaine de la théorie, et que cela sera dû aux applications récentes du *procédé Bessemer*. — Quoi qu'il arrive, ces applications, qui vont avoir lieu dans plusieurs de nos grands établissements métallurgiques, auront sur l'avenir de la métallurgie française une influence d'autant plus considérable que le procédé Bessemer est accueilli avec beaucoup plus de faveur en France qu'en Angleterre.

C'est ainsi qu'à Sheffield il n'y a encore qu'une grande aciérie qui l'ait adopté, celle de M. J. Brown, et que les fabricants anglais prétendent que le produit obtenu n'est pas de l'acier. — Cela n'infirme en rien, d'ailleurs, les résultats *auxquels on doit* arriver avec le procédé Bessemer; il suffit de l'avoir vu fonctionner une fois, ainsi que cela nous est arrivé chez M. Brown, pour être convaincu que c'est le procédé d'affinage le plus facile, le plus rapide et le plus énergique qui soit encore connu, et qui a révélé un fait nouveau et gros de conséquences en métallurgie, celui d'une température si élevée qu'au besoin on peut obtenir du fer fondu.

Il n'est pas douteux qu'il ne reste beaucoup à faire : étude et préparation des fontes, dosage du vent et de la pression, et enfin détermination de la cause qui rend les lingots fragiles et parfois *si rouverains* qu'il est impossible de les forger.

M. LIMET croit que cette fragilité est uniquement due à l'action de l'air, en quantité considérable et à une très-haute température, et que l'analogie que ce résultat présente avec celui des fers brûlés conduira facilement à la découverte du remède à apporter. — Il arrivera au procédé Bessemer ce qui est arrivé aux procédés de puddlage : en quelques années seulement, son application fera trouver d'heureux tours de main qui le rendront pratique, sans porter atteinte à son principe, et M. Limet espère que cette fois, ce qui est assez rare, l'honneur et le bénéfice en reviendront à la France, si toutefois nos industriels ne se laissent devancer par M. Krupp, qui, d'après ce qu'on lui affirme, monterait des appareils Bessemer pouvant produire 10,000 kilogrammes chacun; et nous savons tous avec quel succès M. Krupp sait traiter les grandes masses d'acier.

Puisse cette indication être un stimulant pour M. Jackson, qui, le premier en France, a osé entrer dans cette voie! Quant aux idées théoriques qui peuvent guider dans les applications, elles sont connues de tous et peuvent se résumer en quelques mots :

1° La théorie de M. Frémy, qui trouve dans le procédé Bessemer la confirmation de toutes les idées synthétiques et analytiques qui ont fait l'objet de ses communica-

tions à l'Académie des sciences, et surtout celle du rôle indispensable et constitutif de l'azote dans l'acier;

2° Les idées de la plupart des métallurgistes, qui ne voient dans la pensée de Bessemer qu'un moyen précieux et énergique d'élimination par affinage et fusion simultanés, dû à l'énorme température d'une partie du métal en vase clos.

La dernière communication de M. Frémy nous promet beaucoup, surtout au point de vue capital de l'épuration et du classement de nos fontes françaises; nous ne doutons pas que, dès qu'il le pourra, l'habile chimiste ne tienne ses promesses en donnant des indications utiles aux métallurgistes.

M. Limet pense que puisque le nom de M. Brown a été prononcé, il doit rappeler le bienveillant accueil qu'il a reçu chez M. Brown sans autre titre que celui de métallurgiste français, et il est certain que notre Président et tous ceux de nos collègues qui ont visité l'important établissement de M. Brown, à Sheffield, seront de son avis à cet égard.

MM. Brunier et Mathieu (Jules) ont été reçus membres de la Société.

Séance tenue à Londres, le 24 Mai 1862.

Présidence de M. Tresca.

La séance est ouverte à 4 heures. Présents à la séance :

Invités. MM. le baron Séguier, Luuyt, Barbier, Agudio.

Membres. MM. Tresca, Farcot, Laboulaye, Achard, Birlé, Letestu, Limet, Faure, Du Pré de Bruxelles, Foucou.

Après la lecture et l'adoption du procès-verbal de la séance du 17 mai, M. le Président fait connaître que M. Flachat, ayant dû repartir immédiatement, à la suite d'une indisposition due à la fatigue, a promis d'envoyer une note sur les locomotives exposées. Il convient donc que la question sur ce sujet soit ajournée.

M. le Président croit devoir rendre un compte sommaire d'une excursion à Sheffield, qu'il vient de faire avec le général Morin et M. Faure.

Il insiste particulièrement sur la visite dans l'immense usine de MM. Brown et Cᵉ (Atlas Works), et pour faire comprendre l'échelle de production de cette usine, il insiste sur ce fait qu'on y peut compter au moins 45 marteaux-pilons.

Les propriétaires de cette usine déclarent avoir dépensé plus de 300,000 fr. pour amener le procédé Bessemer à son état actuel, qui paraît être réellement industriel.

M. le Président décrit l'opération qu'il a pu suivre dans ses détails, depuis le moment où la fonte est chargée dans les fours à réverbères, où elle doit se liquéfier préalablement, jusqu'à celui où le métal obtenu est coulé en lingots divers.

1° Échauffement, puis nettoyage des cubilots tournants. 2° Charge du cubilot par injection de 3 tonnes de fonte (fonte de Cumberland n° 4), (on n'emploie que cette espèce, a-t-on dit, parmi les fontes de Cumberland). 3° On donne le vent pendant 18 ou 20 minutes. La flamme reste invariable pendant les dernières minutes. 4° Injection d'une demi-tonne de fonte (d'une provenance toute spéciale), de Müssen sur les bords du Rhin.

But de cette addition. Il a été dit que le déchet était de 35 0/0 environ, dans la fusion, sans compter le déchet au réverbère. Il paraît donc hors de doute que l'agent qui développe et entretient la chaleur nécessaire est surtout le fer lui-même. Le vent est donné par six tuyères, qui aboutissent au fond inférieur du cubilot au moyen d'un tube en Z. La pression du vent est de 16 livres par pouce carré.

M. le Président donne lecture d'une note qui lui avait été adressée par M. H. Mathieu, et il répond successivement aux diverses questions qu'elle contient. M. Chénot aîné, après nous avoir été très-utile dans cette visite, a bien voulu se charger en outre de faire une réponse écrite à quelques points de cette note.

En réponse à une question qui lui a été adressée, M. le Président pense que si le procédé Bessemer n'est pas appliqué à la fonte de Suède, la raison n'en doit être cherchée que dans le haut prix de la matière, qui ne permet pas d'en perdre rationnellement 35 0/0 comme combustible.

M. Limet demande sur la coulée en lingotières quelques détails, il voudrait savoir surtout si le métal Bessemer, ainsi coulé, présente à sa partie centrale le creux que l'on rencontre, plus ou moins accusé, dans les lingots d'acier fondu obtenus à la manière ordinaire.

M. Limet exprime ses idées sur l'avenir du procédé Bessemer qu'il juge favorablement. Il croit aussi que le fer brûlé est le véritable générateur de la température élevée, et le fait paraît attesté d'ailleurs par la quantité de scories qui surnagent dans le bain de coulée.

M. le Président confirme les idées de M. Limet sur l'avenir réservé aux procédés Bessemer, comme aciers fins, en contestant la valeur absolue des produits.

Il y a, dit-il, une tendance bien marquée à l'abandon des aciers puddlés. La diminution notable de cette fabrication est confirmée par M. Du Pré, membre du jury de la Belgique.

Selon M. le Président, les aciers Bessemer doivent trouver leur place partout où l'on a voulu employer les aciers puddlés, que l'on commence à abandonner.

M. Limet ne croit pas que l'on doive se laisser prendre sans avoir fait un *compte exact* aux déchets accusés (aux 35 0/0) du procédé Bessemer ; malgré ces déchets, il croit qu'il doit y avoir encore, en faveur de ce procédé, un avantage très-sérieux au point de vue du prix de revient que représente le combustible dans les antres modes de production de l'acier. M. le Président remarque qu'à Sheffield, comme chez M. Brown, on affecte toujours de dire métal Bessemer et non acier Bessemer. Il lui a paru même que ce métal accuse *au tournage*, notamment, une *couleur blanche particulière* assez notablement différente de celle de l'acier fondu.

M. Limet insiste sur l'utilité qu'il y aurait à pouvoir obtenir des analyses exactes des matières employées et des produits; mais M. le Président, après avoir dit : Nous aurons tous les éléments, nous ferons faire les analyses avec tout le soin possible, ne croit pas pouvoir se dispenser de faire connaître toutes les incertitudes, voire même *toutes* les anomalies que peuvent présenter les analyses, alors qu'on n'est pas encore fixé sur la véritable composition des aciers, et que la proportion des substances les plus intéressantes est d'ailleurs si faible.

M. le Président pense que la question du métal Bessemer ne saurait être épuisée en un jour, et il veut passer sans transition à une autre question : l'emploi du marteau-pilon, l'étude des tendances révélées sur ce sujet par l'Exposition.

Sur l'invitation du président, M. Farcot signale les caractères spéciaux aux nom-

breux pilons exposés, il les critique d'ailleurs assez généralement et promet sur ce point une note demandée par M. le Président.

M. le Président, après avoir signalé la tendance des Anglais à rendre le pilon automatique, pense qu'on doit chercher à cette tendance, bien accusée, un motif qui n'apparaît pas immédiatement.

M. Du Pré pense qu'elle s'explique naturellement par le fait que les Anglais arrivent ou cherchent toujours à arriver *à une fabrication spéciale*, en confiant aux mêmes outils l'exécution des mêmes pièces dans les mêmes calibres. Dans ces conditions, le mouvement automatique du pilon est ou doit être une bonne chose.

M. Limet est disposé à accepter cette explication comme exacte.

M. le baron Séguier fait observer que le mouvement automatique peut et doit être une bonne condition, pourvu que le maître forgeron reste d'ailleurs maître de varier l'introduction de vapeur.

M. Farcot hésite à dire ses idées sur ce sujet, qui pourrait paraître trop personnel; mais M. le Président vient lui faire observer qu'il doit faire connaître ses vues à l'assemblée, sans autre préoccupation que de l'éclairer sur une matière qu'il a dû étudier plus à fond que d'autres.

M. le Président donne lecture d'une lettre qui lui a été adressée par M. Vuigner, au sujet des tendances qui pourraient être à redouter dans l'appréciation des grands travaux de fondation en sous-œuvre. Cette lettre sera remise par M. le Président à notre collègue M. Émile Trélat, juré de la classe qui aura à examiner les magnifiques travaux de la France, et notamment le pont de Kehl.

Après avoir donné communication d'une lettre de M. E. Ganneron, au sujet de l'étude des machines agricoles, M. le Président croit devoir insister tout particulièrement sur l'intérêt considérable qui se rattache à ce genre d'étude dans l'Exposition actuelle.

Il compare l'impression que causa en 1851 sur les Français l'exposition anglaise en *agriculture simplement*, avec celle que fait éprouver l'exposition actuelle.

Il croit d'ailleurs que, pour étudier fructueusement les machines agricoles, il faut diviser l'étude en deux séries très-distinctes :

1° Instruments pour la culture du sol;

2° Instruments de récolte.

Il signale ce fait, entre autres, qu'à cette heure, en Angleterre, on compte *plus de* 100 *machines à labourer* en *fonction*.

Il expose à ce sujet quelques vues pratiques, en insistant notamment sur *le labourage à forfait*, qui peut, qui doit se propager.

M. le baron Séguier donne quelques détails historiques très-intéressants sur un procédé de labourage mécanique proposé dès le dernier siècle au moyen d'un moteur dit cerf-volant hydraulique.

Il ajoute que dans les vingt dernières années et avant l'Exposition de 1851, un inventeur français avait présenté à la Société d'encouragement un projet de labourage mécanique au moyen d'un moulin à vent, agissant pour enrouler un cordage qui, au moyen de poulie et par une disposition très-analogue à celle employée par Howard, serait venue conduire une charrue.

Sur l'invitation du président, M. Faure rend compte de la fabrication d'une *plaque de blindage* dans l'usine de MM. Brown à Sheffield.

Une note détaillée fera connaître toutes les manœuvres :

1° Superposition de 4 ou 5 balles et leur soudage au pilon.

2° Laminage du paquet ainsi obtenu.

3° Réchauffage et laminage dans un autre sens.

4° Formation d'un paquet avec 4 plaques ainsi obtenues. Réchauffage au blanc soudant.

5° Laminage des paquets.

6° Réchauffage et laminage.

7° Passage au rouleau (2 rouleaux de 10 t^nes chacun).

8° Rabotage des rives.

(Voir à l'Exposition les spécimens).

M. le Président invite M. Barbier, présent à la séance, à signaler ce qu'il a vu sur la fabrication du caoutchouc à l'Exposition. M. Barbier dit que les propriétaires d'usines de ce genre ne laissent rien voir. Mais il signale les produits d'une usine du Zollwerein, qui pourrait, dit-on, fabriquer par jour 10,000 paires de souliers et qui en fait régulièrement 5,000.

On signale l'emploi du caoutchouc pour tapis de vestibules, d'escaliers, corridors, etc., comme très-répandu déjà à Londres.

Au sujet du Zollwerein, M. le Président fait ressortir l'avenir de l'Allemagne dans l'industrie, et la concurrence redoutable que la France doit craindre, de ce côté-là surtout.

Séance du 5 Septembre 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. le Président annonce que la Société vient de perdre un de ses membres, M. Joly, constructeur à Argenteuil. M. Joly n'avait pas acquis son instruction personnelle dans les écoles spéciales; ingénieur formé par la pratique, et doué d'une aptitude remarquable pour la construction métallique, il était un des représentants de cette pléiade d'hommes distingués qui, sortis des professions manuelles, comme les Cavé, les Pihet, etc., ont contribué si activement aux premiers progrès des industries mécaniques. La Société des Ingénieurs civils s'associera aux témoignages unanimes de regrets et de sympathie manifestés par l'affluence considérable de personnes qui assistaient aux funérailles de M. Joly.

M. le Président annonce qu'il a reçu plusieurs mémoires sur la navigation des canaux; il engage les membres qui pourraient s'occuper de cette intéressante question à lui adresser leurs travaux sans retard, afin de comprendre toutes ces communications dans l'ordre du jour d'une des plus prochaines séances.

M. Burel présente le modèle de son photomètre, et complète par quelques explications la description qui en a été donnée dans la dernière séance.

M. Salvetat donne lecture de son rapport sur les produits céramiques exposés à

Londres. Ce rapport est imprimé textuellement dans le Bulletin du deuxième trimestre.

M. le Président, en remerciant M. Salvetat de son intéressante communication, indique qu'il sera prochainement adressé une circulaire pour demander à chaque membre de la Société de désigner la partie de l'Exposition dont il se charge de rendre compte.

M. Péligot, sur l'invitation de M. le Président, fait connaître les dispositions d'un flotteur alimentaire automoteur pour les chaudières à vapeur, de MM. Chameroy et Clevez.

M. le Président constate que cet appareil fonctionne très-régulièrement, malgré les résistances plus ou moins considérables des garnitures, et grâce à l'excès de la force ascensionnelle résultant des dimensions des flotteurs.

M. Houlbrat donne communication d'une note sur les poids et valeurs des divers matériaux nécessaires pour la construction des tabliers des ponts métalliques à une seule travée de 3 à 50 mètres d'ouverture.

En 1859 et en 1860, la Société des chemins de fer russes a fait établir, sur l'une de ses lignes, une série de ponts métalliques à une seule travée. Tous ces ouvrages ayant été exécutés dans les mêmes conditions, même constructeur, même type de construction, mêmes coefficients de résistance, M. Houlbrat a pensé qu'il serait intéressant de profiter de l'occasion qui se présentait, pour étudier la relation existant entre les ouvertures des ponts à une seule travée, et le poids du métal employé à leur construction. A cet effet, après avoir pris sur une ligne horizontale des longueurs proportionnelles aux ouvertures des ponts qui lui étaient connus, il a représenté par des ordonnées correspondantes le poids total du fer employé dans chacune de ces constructions, et il a obtenu une courbe d'une forme parabolique, lui donnant la relation cherchée.

Trente-six ponts lui ont donné 9 points de cette courbe, savoir : 10 ponts de 3^m,20 d'ouverture ; 13 ponts de 4^m,30 ; 6 ponts de 6^m,40 ; 2 ponts de 8^m,50, et un pont seulement de chacune des ouvertures suivantes : 16^m,00 ; 21,30 ; 22,20 ; 25,60, et 47 mètres.

Tous ces ponts ont été établis dans les mêmes conditions.

Ils sont formés de 4 poutres principales portant chacune un rail, et de deux poutrelles soutenant les garde-corps. Les poutres principales ont pour hauteur le douzième environ de leur longueur. Celles dont la portée est inférieure à 10 mètres ont une paroi verticale pleine, et les autres ont leur paroi verticale composée de fers plats disposés en treillis et inclinés à 45 degrés.

Quant à leurs dimensions, elles ont été calculées de telle sorte qu'avec une surcharge supposée de

4,100 kilogr. par mètre courant de simple voie pour les ouvertures de 17 à 50 mètres,
5,000 — — — pour les ouvertures de 10 à 16 mètres,

et d'une machine Engerth pour les ouvertures au-dessous de 10 mètres,
chaque centimètre carré de *section nette* travaille :

A moins de 700 kilogrammes dans les tables horizontales,
A moins de 500 — dans les croisillons,
Et à moins de 500 — dans les rivets.

Les tables horizontales des ponts qui n'ont pas 10 mètres d'ouverture ne travaillent même qu'à 550 kilogrammes par centimètre carré de *section nette*.

L'énoncé de ces diverses conditions fait voir que tous ces ponts, et particulièrement

ceux de petite ouverture, sont très-prudemment établis. Néanmoins, en ayant égard à ce fait, les Ingénieurs plus confiants dans la résistance du métal pourront déterminer, à l'aide de cette courbe, et d'une manière suffisamment exacte, les poids des ponts dont ils voudront étudier les projets. Ils pourront éviter ainsi des calculs préliminaires, présentant souvent de grandes chances d'inexactitude.

Quelques Ingénieurs pourront critiquer le type adopté; à ce sujet, M. Houlbrat fait remarquer : *qu'il était essentiel, pour une étude de ce genre, d'avoir des ponts construits sur le même modèle, quelle que fût leur ouverture.* Chacun pourra du reste tenir compte de la légèreté relative de son système, en diminuant, dans une certaine mesure, les poids indiqués par les valeurs des ordonnées de la courbe.

Après avoir tracé la courbe donnant le poids total du fer employé, il a indiqué sur le même tableau des courbes analogues pour le bois composant le tablier, et pour la fonte servant de support aux poutres (soit comme glissières, soit comme rouleaux, suivant la longueur des poutres).

Il a tracé de plus une autre courbe, indiquant la valeur totale des tabliers des mêmes ponts, si l'on admet les prix suivants :

Par tonne de fer.	600 francs.
— de fonte.	300 —
Par mètre cube de bois de sapin.	75 —

Elle fournira de suite un renseignement approximatif, mais suffisant, à ceux qui auront à établir rapidement des devis.

Dans certaines circonstances, il est quelquefois plus commode de consulter une équation qu'un tableau graphique; c'est pour cette raison qu'il a cherché l'expression analytique des courbes dont il vient de parler.

En représentant par x l'ouverture des ponts, exprimée par mètres,
par y les poids des matériaux exprimés en kilogrammes, ou leur valeur totale en francs, il est arrivé aux résultats suivants :

Poids du fer.

Ponts de 3 à 10 mètres d'ouverture. . . $y = 2130\,x - 2900.$
— 10 à 50 — — . . . $y = 54\,x^2 + 8000.$

Poids de la fonte.

Ponts de 3 à 20 mètres d'ouverture. . . $y = 160\,x - 200.$
— 21 à 50 — — . . . $y = 210\,x + 2800.$

Poids du plomb.

Poids de 3 à 50 mètres d'ouverture. . . $y = 16\,x + 50.$

Poids du bois.

Ponts de 3 à 50 mètres d'ouverture. . . $y = 700\,x + 900.$

Valeurs des ouvrages en francs.

Ponts de 3 à 10 mètres d'ouverture. . . $y = 50\,x^2 + 750\,x.$
— 10 à 50 — — . . . $y = 67\,x^2 + 6000.$

Il ajoute, en terminant, qu'il eût été facile de déterminer des équations correspondant aux courbes avec plus d'exactitude; mais il a pensé qu'avant toute chose il était nécessaire d'avoir des équations simples et permettant un calcul très-rapide. Du reste,

entre les valeurs qui résultent de l'emploi de celles qui viennent d'être indiquées, et les valeurs des ordonnées des courbes elles-mêmes, il existe un écart qui n'atteint jamais 3 pour 100.

MM. Blanc-Garin, de Bussierre, Carcenat, Derennes, Levy (Jules) et Rey ont été reçus membres de la Société.

Séance tenue à Londres, le 21 Mai 1862.

Présidence de M. Tresca.

Sont présents à la séance :

Invités : MM. Barbier, Agudio.

Membres : MM. Tresca, Faure, Vuigner, Salvetat, Ser, Lavezzari, Farcot, Birlé, Hamoir, Achard, Decaux, Petitgand, E. Bourdon, Letestu, Alcan, Barthélemy.

Après lecture et adoption du procès-verbal de la séance précédente (par M. Faure), M. le Président invite les membres présents à communiquer les observations faites par chacun d'eux sur les produits exposés au palais de Kensington.

M. Petitgand dit que l'étude de l'Exposition, au point de vue particulier de l'état de la métallurgie du fer en Angleterre, constate une tendance très-marquée à l'amélioration des qualités par le choix et le mélange des minerais, dans la production de la fonte, des fontes dans la production du fer; si les échantillons exposés sont bien réellement obtenus en fabrication courante, il restera constant que les Anglais, au point de vue des qualités, ont fait des progrès considérables. M. le Président confirme les remarques de M. Petitgand et il cite à l'appui ce qui lui a été dit par M. Penn, dans une visite aux usines de ce grand constructeur, touchant les soins tout particuliers qu'il apporte dans le choix des fontes pour la charge de ses cubilots et réverbères.

M. Faure explique que chez M. Penn les fontes neuves ou les brocailles de vieilles fontes sont cassées en petits fragments et ceux-ci sont triés avec soin, cotés par assimilation; c'est aux lots ainsi formés qu'on emprunte quelques éléments, en quantités définies, de la charge des fours de fusion.

M. le Président ajoute qu'en Angleterre il y a presque toujours une solidarité directe et continue entre le producteur des matières premières et le constructeur qui les emploie. C'est là un élément très-considérable de supériorité dans les produits de l'un et de l'autre, les producteurs de fonte et de fer, par exemple, tenant à honneur et devoir de livrer des produits de qualités supérieures aux constructeurs. C'est ainsi que les forges de la Mersey ont tenu à inscrire sur un arbre à manivelles le nom de M. Penn et celui du navire auquel cet arbre est destiné.

M. Petitgand revient avec insistance sur sa première observation, en faisant remarquer combien il importe aux producteurs français, en présence de l'amélioration des fers et fontes de l'Angleterre, de suivre la même voie avec le plus grand soin, s'ils veulent ne pas être atteints, même dépassés sur la qualité, qui avait fait jusqu'ici notre seule supériorité, en présence de tant d'autres causes d'infériorité relative.

M. le Président signale ce grand avantage de bon nombre de constructeurs anglais, qui consiste en ceci : qu'ils se livrent à des spécialités, répétant à l'infini les

mêmes types, qu'ils se bornent à améliorer constamment. C'est ainsi que M. Penn, après avoir livré au delà de cent machines sur son modèle des machines oscillantes des iron-boats de la Tamise, a continué à fabriquer ce type en si grand nombre, qu'il ne compte plus aujourd'hui.

M. le Président croit utile de signaler ce fait, que chez M. Penn l'emploi des outils est poussé jusqu'à la dernière limite. Ainsi les pièces sont soumises à une dernière machine à raboter ou limeuse, dont les passes sont si rapprochées et dans lesquelles l'outil mord si peu, que la pièce arrive ainsi à avoir ses surfaces unies comme une glace.

Invité à dire son avis sur cette méthode de travail mécanique pour le finissage des pièces, M. E. Bourdon dit que chez M. Penn et chez les bons constructeurs anglais, non-seulement les outils sont très-bons, très-multipliés, mais qu'en outre les hommes qui les conduisent ont une habileté et prennent des soins très-remarquables. Cette habileté consiste surtout dans un *excellent affûtage de l'outil;* et l'affûtage, dit-il, a une importance énorme.

M. Farcot pense que le beau travail de finissage mécanique, signalé dans les pièces sorties des ateliers de M. Penn notamment, ne coûterait pas plus cher qu'un finissage plus ou moins imparfait, si l'on avait un matériel d'outils assez nombreux pour pouvoir laisser une même pièce assez longtemps sur le même outil. C'est donc avant tout une question de dépense première en installation d'outillage.

M. le Président fait remarquer que les ateliers de nos chemins de fer, par exemple, sont largement outillés, qu'ils peuvent à cet égard ne pas se préoccuper des fonds à engager pour l'outillage; que dès lors il y a service à rendre par nous, en leur signalant la méthode de travail suivie chez Penn et chez Whitworth et Compagnie.

M. Vuigner voudrait qu'on signalât avec insistance les observations sur les tendances générales des exposants à améliorer la qualité des matières qu'ils produisent. Quelques mots de M. Petitgand appellent l'attention sur la belle exposition du Zollwerein, qui témoigne de la richesse de cette réunion de pays producteurs en minerais propres à donner les plus belles qualités de fontes, fers et aciers.

M. Faure insiste sur ce sujet et fait remarquer que, malgré qu'en ce moment les fers exposés par le Zollwerein ne semblent pas relativement à la hauteur des beaux minerais qui les ont dû fournir, cependant l'avenir de l'association allemande est énorme; le Zollwerein est ou doit être le rival le plus dangereux pour la France, *pour la Belgique surtout.*

A ce sujet, M. le Président caractérise la différence qui existe entre l'Angleterre et la France, au point de vue de la production industrielle : d'un côté, ampleur énorme en toute chose qui peut conduire au but; capitaux hardis et puissants, audace même dans les installations; ici, pauvreté, timidité, mesquinerie même trop souvent, quand il s'agit d'exécuter, de réaliser. S'agit-il, au contraire, d'inventer, l'Anglais est lent, moutonnier, peu soucieux même d'arriver, et le Français a sur lui, en matière d'invention et d'activité d'esprit, des avantages très-grands.

M. Vuigner pense que l'avenir de l'industrie en France est dans l'extension de ses moyens de production, qu'il faut organiser avec l'ampleur des Anglais. Il constate qu'en ce qui concerne le fer et la fonte, M. Schneider et le Creuzot, MM. de Wendel ont bien compris la situation, puisqu'ils n'ont pas hésité à engager des millions dans un accroissement considérable de leurs usines pour arriver à se mettre au niveau des Anglais, sous le point de vue de l'échelle de production.

M. Alcan donne des détails assez étendus sur ce qu'il a vu en Angleterre, sur ce qu'il vient de voir en Écosse, touchant l'industrie textile, et sur ce qui a lieu en Irlande (il a promis une note à ce sujet). Il insiste sur ce fait qu'en France, par exemple, et à cette heure, la peigneuse d'Heilmann n'est employée sérieusement que pour le coton, tandis qu'il vient de voir une usine dans laquelle cent peigneuses Heilmann sont appliquées au lin. Avec cette peigneuse, on peut arriver et on arrive à transformer l'étoupe la plus grossière, de manière à en obtenir les fils les plus beaux, les plus fins.

M. le Président rappelle les incidents relatifs à la peigneuse Heilmann, en Angleterre, en 1851, il donne quelques détails sur le procès alors engagé entre MM. Schlumberger et des contrefacteurs anglais, sur l'ampleur de ceux-ci, qui ne craignirent pas de dépenser des sommes énormes pour s'assurer le droit de fabriquer, de vendre et d'employer ce bel outil.

M. Faure regrette que l'on n'ait pas su obtenir *une place d'honneur* pour la magnifique collection de modèles, dessins et atlas exposés par la France. C'est une gloire, et une grande, pour un pays, d'avoir pu présenter cette collection de ravissants modèles de travaux entrepris entre 1855 et 1862, qui tous ont un cachet de grandeur ou de nouveauté. Il signale, enfin, le livre rédigé sur les notes des auteurs de ces travaux, parce qu'il permet de les bien apprécier.

M. le Président invite M. Vuigner à signaler ce qu'il a vu de plus remarquable à l'Exposition, au point de vue des travaux de construction.

M. Vuigner désire que la métallurgie et les travaux publics exposés soient étudiés complétement, et il fera en sorte que MM. Charpentier, pour la métallurgie, Guillaume, pour les travaux publics, soient envoyés à Londres.

M. Faure signale, dans l'exposition anglaise, le magnifique relief des Pyrénées orientales, qui est destiné à montrer l'étude, par M. Vignolles, d'un chemin de fer destiné à les traverser entre Bilbao et Tudela.

A une remarque de M. Petitgand sur le peu d'importance de la métallurgie française à l'Exposition, M. Faure répond qu'il serait injuste de juger la France, au point de vue de l'exposition métallurgique à Londres, en présence d'abstentions considérables, plus ou moins motivées.

M. Ser, envoyé en mission par l'administration de l'Assistance publique pour étudier, avec M. Blondel, les hôpitaux de Londres, est invité par M. le Président à rédiger un programme sur l'étude de l'Exposition à ce point de vue de l'hygiène et des services qui s'y rapportent dans les hôpitaux. M. Ser doit rédiger un mémoire à la suite de sa mission, et il promet de demander l'autorisation de le communiquer ultérieurement à la Société.

M. le Président voudrait que M. Bourdon se chargeât d'une étude de l'Exposition, au point de vue d'un certain nombre d'appareils mécaniques. Il invite M. Barthélemy à se charger d'étudier les constructions théâtrales. Il demande à M. Birlé s'il pourra s'occuper du matériel roulant et du matériel fixe des chemins de fer. M. Birlé promet de faire ce travail.

Persuadé que l'avenir de la profession d'ingénieur civil, en France, est surtout dans l'établissement des usines industrielles, dans leur organisation, M. le Président développe ce point de vue. Il provoque MM. Faure et Petitgand à se charger conjointement de rendre compte à la Société de leurs études à l'Exposition, au point de vue particulier de la métallurgie.

Invité par M. le Président à dire ce qu'il peut ou veut étudier plus spécialement à Londres, M. Lavezzari promet un travail sur l'Exposition, au sujet des argiles, des calcaires, et des produits de leur calcination (chaux, ciments, briques, tuiles).

Séance tenue à Londres, le 7 Juin 1862.

Présidence de M. TRESCA.

M. LE PRÉSIDENT prie M. Faure de vouloir bien remplir les fonctions de secrétaire.

Sont présents à la séance : Invité, M. le baron Séguier; membres, MM. Farcot, Achard, Gaudry, Faure, Petitgand, Salvetat, Foucou, Barthélemy et E. Muller.

M. LE PRÉSIDENT invite M. Salvetat à faire connaître son impression au sujet des progrès de l'industrie céramique.

Un fait général, dit M. Salvetat, se présente à l'Exposition de 1862, et ce fait se remarque dans les produits céramiques comme dans beaucoup d'autres catégories des objets exposés. La France, ingénieuse dans les détails, ne possède pas cette grandeur de l'application qu'on observe chez nos voisins. A l'ampleur de leurs moyens d'action correspondent une fabrication parfaite, des produits admirablement fabriqués, une installation d'usines très-considérables. Peu de ces idées nouvelles qui font de l'Exposition céramique française une agglomération très-instructive.

Au point de vue de l'application des beaux-arts à l'industrie, on trouve chez nous des exposants nombreux qui, tous dans une voie différente, s'exerçent à produire des objets de céramique décorative. Mais il leur manque les notions certaines de la technologie pratique, si développée chez les fabricants anglais. Le goût artistique s'est étendu d'une manière surprenante en Angleterre depuis l'Exposition de 1851, et les exhibitions de MM. Minton, Copeland et Wedgwood ont fait voir avec quelle rapidité la transformation est possible dans ce pays qu'on avait voulu nous représenter comme deshérité de toute tendance artistique.

Je fixerai surtout l'attention de la Société sur quelques perfectionnements que l'industrie française a récemment introduits dans la fabrication céramique.

On doit à l'initiative de la Manufacture impériale de Sèvres le développement des procédés à l'aide desquels on fabrique des objets formés, de toutes pièces, en pâte de couleur, et décorés au grand feu sans emploi de cuissons répétés.

A cet effet, on a considérablement augmenté le nombre des oxydes qu'il est possible d'introduire dans les pâtes, et on a fait usage de substances capables de corriger l'excès de la fusibilité de ces pâtes ainsi colorées. On a, en outre, tiré parti de l'action de l'oxygène de la flamme et des produits d'une combustion incomplète, pour modifier la nuance des pâtes et produire avec une même matière des colorations très-différentes. C'est ainsi qu'avec de l'oxyde de chrôme, dans une atmosphère de réduction, on obtient une nuance bleuâtre, tandis qu'avec une atmosphère oxydante on obtient une couleur verte ou même rouge rubis à la lumière. C'est ainsi encore qu'avec l'oxyde d'urane on prépare dans une atmosphère oxydante du jaune pur et des tons variant du brun rougeâtre au noir dans une atmosphère réductrice.

Je signalerai les tentatives, suivies de succès, faites dans la fabrique de Bordeaux pour remplacer la mise en mouvement des tours par des moyens mécaniques.

La dorure brillante, sortant des moules avec l'aspect métallique, sans le secours du brunissoir, a pris entre les mains de MM. Dutertre un très-grand développement; la découverte des lustres métalliques, faite par MM. Gillet et Brianchon, l'application de la chromo-lithographie à la décoration de la poterie, l'emploi du vide ou de l'air comprimé pour obtenir des moulages irréprochables, sont également des résultats intéressants qui font honneur à l'industrie française.

L'emploi de la chromo-lithographie apparaît, il est vrai, dans les expositions d'Espagne et du Zollwerein. Mais il faut ajouter qu'à Séville l'installation résulte de la licence d'un brevet français, et qu'en Allemagne les spécimens exposés représentent cette application à l'état tout à fait rudimentaire.

M. Salvetat fait remarquer que les exposants anglais ont produit une pâte nouvelle qui représente une imitation parfaite de l'ivoire. Il ne doute pas que nos fabricants, déjà si habiles, ne puissent être en état de reproduire prochainement des pièces de cette même matière, comme aussi des peintures vitrifiables obtenues par des crayons céramiques pour remplacer les pinceaux. L'Allemagne en a montré quelques échantillons intéressants. M. Minton a exposé une buire très-remarquable peinte par cette méthode.

Il termine en accusant enfin la parfaite qualité des matières réfractaires exposées par un grand nombre de producteurs anglais. Il a surtout été frappé de la qualité toute spéciale de l'argile de Stourbridge. Des fragments séparés de cette terre, dont l'un a été cuit et l'autre est resté cru, sont rapprochés et se rajustent sans que la retraite ait été sensible. Il croit voir dans cette circonstance un grand avantage pour la fabrication courante, coûteuse ordinairement tant à cause des mélanges que du rebut résultant des fentes, gerçures, etc.

A l'occasion de cette observation, M. le Président pense qu'il est convenable de faire connaître en France le moyen d'obtenir par une espèce de drainage, dans les parcs et les jardins anglais, des allées en quelque sorte toujours dépouillées de boue. On fait avec la terre qui recouvre le sol des briques grossières qui sont mises en tas et pilées à l'état de ciment. Ce ciment répandu sur le sol fait un sous-sol perméable très-bon pour recevoir le macadam.

M. Tresca demande à M. Salvetat s'il a remarqué les vases genre étrusque que sir J. Duke a exposés et dont il a acheté un spécimen pour le Conservatoire des arts et métiers.

M. Salvetat trouve que cette fabrication est intéressante; c'est le premier exemple d'une pâte noire recouverte d'une glaçure qui, étant usée à la roue ou de toute autre manière, laisse en réserve des ornements brillants enlevés sur un fond mat.

M. le baron Séguier a remarqué un tour automoteur destiné à remplacer la mise en mouvement des tours à potier par une combinaison intéressante de cônes sur lesquels la courroie de transmission peut se mouvoir pour modifier la vitesse du mouvement au gré du tourneur. Il désire savoir si cette disposition est généralement employée.

M. Salvetat fait remarquer que le principe de la substitution du tour automatique est répandu dans l'industrie, et qu'il peut faire appel aux souvenirs de M. Tresca, qui a vu fonctionner avec une grande régularité les tours installés à Bordeaux, dans la fabrique de M. Vieillard. Le mouvement est réglé par une pédale qui règle la vitesse au moyen d'un cône de friction.

M. LE BARON SÉGUIER désire savoir si les procédés de compression des pâtes inventées par le célèbre Wedgwood sont toujours en usage. M. Salvetat répond par l'affirmative; il saisit cette occasion d'expliquer en quoi consistent les moyens actuellement en usage à la manufacture de Sèvres, pour mouler les grandes pièces au moyen du vide ou de l'air comprimé. Suivant la forme de la pièce et le mode de façonnage, on se sert de l'une ou de l'autre de ces méthodes. L'air comprimé, agissant à l'intérieur d'une pièce moulée dans un moule qui doit donner la forme extérieure, maintient une compression égale qui s'oppose à la déformation. L'air raréfié, agissant à l'extérieur d'un moule qui est chargé de pâte liquide, permet un raffermissement régulier de la pièce par ablution de l'eau au travers du moule qui fait office de filtre. La première méthode est appliquée à l'impression par M. Silbermann jeune.

M. TRESCA interpelle M. Petitgand pour obtenir de lui quelques détails métallurgiques sur l'Exposition et principalement sur la pièce de blindage de Butterley.

M. PETITGAND pense et croit pouvoir fournir la preuve que cette pièce est composée d'une partie sur laquelle ont été soudées par voie de laminage les deux bandes perpendiculaires, le laminage s'effectuant à la fois sur les deux directions; des traits parallèles indiquent les points de soudure. Il se demande s'il y aurait avantage, en supposant que la pièce soit d'un seul morceau, à se servir de pièces de cette dimension et à les préférer aux pièces à double T préparées par les procédés ordinaires. M. Faure pense que la réponse n'est pas douteuse et qu'il n'y a même pas à hésiter au point de vue de la solidité des constructions.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Gaudry s'il est à même de communiquer à la Société les observations qu'il a pu recueillir sur les machines locomotives exposées.

M. GAUDRY promet à M. le Président un résumé des études auxquelles il va se livrer dans le voyage qu'il poursuit en Angleterre.

M. LE BARON SÉGUIER signale aux membres de la société une innovation qui lui paraît heureuse dans l'installation des chaudières tubulaires. On aurait une économie notable en réservant, d'après le système Mac Connell, une chambre spacieuse en avant des tubes pour opérer le mélange des gaz et faciliter la combustion. M. le baron Séguier remarque seulement qu'on améliorerait encore le système en revêtant d'une chemise en briques réfractaires l'intérieur de cette chambre, où les gaz se maintiendraient alors à une température plus favorable.

M. LE BARON SÉGUIER désire faire part à la société de quelques observations qu'il a faites au sujet du pilon-enclume et à pression hydraulique exposé dans la galerie des machines. Il ne croit pas que ce système doive être préféré au marteau de M. Farcot qui avec introduction de vapeur en dessus peut suffire à tout. On comprend peu en Angleterre les avantages qui peuvent résulter de cette disposition, parce que jusqu'à présent, dans ce pays, on tient peu de compte de l'économie de vapeur. Si dans ce système on peut admettre qu'à chaque coup de piston, la vapeur du réservoir inférieur éprouve une certaine perte de chaleur, cette perte est complétement restituée par le métal qu'on travaille.

M. FOUCOU prend l'engagement de se charger d'une étude sur les appareils à combustion. L'examen de cette question, au point de vue économique, ne manque pas d'une certaine importance.

M. LE PRÉSIDENT a remarqué l'appareil de M. Siemens. On ne tardera pas à faire usage, dans un grand nombre de cas où l'on veut obtenir des températures élevées, des chaleurs dégagées par la combustion des gaz combustibles; l'application de ces

principes, si bien étudiés par Ebelmen, prendra place dans l'industrie qui peut citer déjà la fonte du verre et la cuisson des briques et des tuiles.

M. le Président demande si M. Muller a remarqué quelque nouvelle disposition dans la confection des machines à laver ; il doit les avoir étudiées d'une manière plus spéciale. M. Muller dit qu'il a vu qu'on donnait comme nouveaux, en Angleterre, les principes qu'il avait introduits en France depuis longtemps, particulièrement dans l'outil qu'il a nommé aide-laveuse. Au reste, un fait l'a frappé, c'est que les machines exposées ici sont très-bien confectionnées, bien installées, et qu'il est fâcheux que les appareils que l'industrie livre au consommateur ne soient pas aussi bien traités. Il a eu l'occasion de faire venir quelques appareils et il a constaté par expérience que les livraisons ne valent pas les modèles exposés.

M. le Président fait remarquer ce fait important que les appareils de buanderies sont généralement construits aujourd'hui dans les ateliers qui s'occupent plus particulièrement des machines agricoles. Cette observation, qui s'applique à la plus grande généralité des cas, semblerait impliquer cette conclusion, que la consommation agricole ne répond pas à la fabrication et que les producteurs doivent dès aujourd'hui s'assurer de nouveaux débouchés.

M. Faure appelle l'attention de la Société sur une petite machine à briques, au moyen de laquelle la pâte laminée à épaisseur convenable, après avoir été suffisamment malaxée, est coupée sous forme de briques. Il signale surtout le moyen très-ingénieux employé par M. Jardin, pour faire agir verticalement le fil qui débite les briques à longueur voulue dans la direction perpendiculaire au mouvement de translation de la croûte.

M. Tresca rend compte des travaux de recherche exécutés en Sibérie par un Français, M. Alibert. Ces travaux, qui ont duré quinze ans, ont amené la découverte d'un magnifique filon de graphite d'excellente qualité, propre surtout à la confection de cette variété de crayons, qui a fait pendant si longtemps la supériorité des crayons anglais. M. Alibert s'est souvenu qu'il était Français et il a voulu disposer en faveur du Conservatoire des Arts et Métiers des différents spécimens qui composent son exposition.

La découverte de graphite de Sibérie engage M. Salvetat à faire connaître celle qu'on vient de faire récemment à Victoria de carrières de kaolin. Un magnifique bloc est exposé auprès de la pyramide de Victoria. C'est une variété très-belle de kaolin caillouteux, propre à la confection des porcelaines et des cailloutages.

M. le Président profite de l'occasion de cette communication pour énoncer le désir que les nouveaux matériaux, produits à l'Exposition, soient signalés avec soin. A cet égard, il croit pouvoir promettre une intéressante étude de M. le général Morin sur différentes espèces de bois provenant surtout des colonies anglaises.

M. Salvetat a remarqué dans l'Exposition d'Italie une série curieuse de bois divers ayant même section, et dont les longueurs ont été réglées de manière à correspondre aux densités relatives. Il pense qu'au point de vue de l'enseignement, cette manière de rendre sensible à la vue les pesanteurs spécifiques ne manque pas d'intérêt, et qu'elle pourrait être en outre étendue à l'étude de beaucoup d'autres matières et d'autres propriétés.

La machine Suédoise devient le sujet d'une conversation à laquelle prennent part MM. le baron Séguier, Tresca et Faure.

Cette machine, dans laquelle les deux cylindres sont concentriques, présente sous un

petit volume l'avantage d'une très-faible surface de refroidissement, dont l'action se trouve encore amoindrie par une enveloppe de vapeur.

Cette disposition ne semble cependant applicable qu'aux cas exceptionnels, dans lesquels la condition principale consiste à grouper tous les organes dans un très-petit espace.

M. LE PRÉSIDENT, en levant la séance, remercie M. le baron Séguier des intéressantes observations qu'il a bien voulu communiquer. Il exprime aussi le désir qu'il puisse continuer de donner à la Société de nouvelles preuves de sa sympathique bienveillance.

Séance du 19 Septembre 1862.

Présidence de M. TRESCA.

M. DE FERNEX, sur l'invitation du Président, donne lecture à la Société de la note qu'il a remise sur la construction d'un wagon, employé au chemin de fer de Chimay, soit au transport des grandes pièces de bois, soit au transport des charbons et des minerais.

M. DE FERNEX commence par indiquer la tendance qu'ont les chemins de fer à diminuer le nombre des types de wagons employés au transport des marchandises, wagons qui, dans l'origine, étaient beaucoup plus nombreux et rendaient le service plus difficile. C'est dans ce but que la compagnie du chemin de fer de Chimay s'adressa à MM. Desouches et Cie, pour l'établissement d'un système de wagons qui puisse à volonté servir au transport des charbons et des grandes pièces de bois; ces marchandises utilisant habituellement deux types complétement différents.

La disposition générale du wagon adopté consiste en un châssis formé de deux brancards, d'une longrine, d'une traverse de milieu, de quatre branches de croix de Saint-André, de deux traverses extrêmes et de deux traverses intermédiaires; les appareils de choc sont fournis par le prolongement des brancards, sur le côté desquels on a rapporté des pièces de bois qui en augmentent la section; le tout étant relié par des frettes. Des ressorts ordinaires servent à la traction, et l'appareil d'attelage est analogue à ceux généralement employés pour les wagons à bois.

La caisse est solidaire avec le châssis, ou, en d'autres termes, le plancher repose directement sur les brancards, la croix de Saint-André et la longrine.

Ce plancher est en outre supporté par deux faux brancards, reliés par des consoles en fonte aux brancards du châssis. Les faux brancards et les traverses extrêmes sont en saillie au-dessus du plancher; quatre hausses mobiles complètent la caisse.

Les hausses des deux bouts du wagon se rabattent sur les tampons au moyen de quatre charnières. Elles reposent, soit directement sur ces tampons, soit sur des tasseaux cloués sur ceux-ci. Leur hauteur est telle, que lorsque deux wagons à bois sont attelés ensemble, elles ne peuvent se rencontrer. Des plates-bandes en fer sont fixées, en haut et en bas, sur les côtés tombants.

Les hausses des deux longs côtés, fixées par six charnières et portant, comme celles des extrémités, des plates-bandes d'armature, se rabattent sur le plancher.

Pour permettre ce mouvement, il est nécessaire de faire tourner la traverse mobile sur le cercle de roulement et de l'amener dans l'axe du châssis. On rabat alors les hausses, et on ramène ensuite la traverse perpendiculairement au châssis. Cette traverse est entaillée à ses deux extrémités inférieures, suivant une ligne courbe, et par suite elle peut facilement passer au-dessus des longs côtés rabattus.

Les hausses étant dans la position que nous venons d'indiquer, et la traverse mobile, munie de ses deux ranchets en fer, étant placée parallèlement aux traverses extrêmes, le wagon peut servir au transport des grandes pièces de bois.

Si, au contraire, on veut charger de la houille, il faut exécuter les manœuvres suivantes :

1° Faire tourner la traverse mobile pour l'amener parallèlement aux brancards;

2° Lever et arrêter les hausses des longs côtés, au moyen de petites bielles en fer placées à l'intérieur du wagon ;

3° Dresser et fixer les côtés tombants des bouts.

On forme ainsi une capacité qui est d'environ 6 mètres cubes pour le wagon.

M. Nozo pense que le wagon dont M. de Fernex vient de donner la description à la Société, ne pourrait convenir à un chemin de fer ayant un trafic notable. La traverse mobile, placée en son milieu, doit empêcher de le vider facilement. M. Nozo ajoute que l'absence de tampons élastiques lui paraît être un inconvénient assez grave.

M. de Fernex répond que les wagons à marchandises du chemin de fer de Chimay n'ont pas de tampons élastiques, et qu'on n'a pas encore senti la nécessité d'en munir ces wagons.

M. le Président donne la description d'un régulateur de foyer pour machine à vapeur. Cet appareil, que l'on peut voir fonctionner chez MM. Bonneterre et Léoni, se compose d'un tube en caoutchouc, qui reçoit à l'intérieur la vapeur de la chaudière.

Ce tube, par suite de son élasticité, augmente de diamètre à mesure que la pression croît, et diminue au contraire si la pression vient à faiblir d'une manière notable. Dès lors, on comprend qu'au moyen de leviers et de contre-poids convenablement disposés, on puisse venir commander le registre de la cheminée de telle sorte que, lorsque la pression de la vapeur augmente, le registre se ferme partiellement d'une quantité suffisante pour diminuer l'activité du foyer, et ramener par suite la pression de la vapeur à celle pour laquelle on a réglé l'appareil. Inversement, le registre s'ouvre pour activer la combustion lorsque la pression de la vapeur diminue dans la chaudière. Cet appareil fonctionne bien et est d'une grande sensibilité, puisqu'une variation d'un cinquième d'atmosphère dans la pression suffit pour faire manœuvrer le registre. On a remarqué que, pour la bonne marche de cet appareil, il fallait que le tuyau d'arrivée de vapeur ou tube en caoutchouc fût d'un diamètre suffisant pour que la pression se transmît bien dans le tube élastique : il est même bon d'établir près de ce tube élastique une espèce de petit réservoir de vapeur, qui facilite considérablement la transmission de la pression.

M. le Président appelle l'attention de la Société sur un appareil qu'il a examiné, de concert avec M. Salvetat, à l'Exposition de Londres. Cet appareil, imaginé par M. Siemens, est un four à gaz, qui se trouve déjà appliqué dans plusieurs grandes manufactures de glaces et de porcelaines en Angleterre. Le grand avantage de ce four consiste dans la constance, pour ainsi dire absolue, de la température. De plus on peut porter la température sur le point précis où elle est nécessaire pour le travail. On peut

encore citer comme fait, moins bien établi, l'économie notable qu'il procure et qui provient de sa marche uniforme et régulière. M. le Président termine en engageant M. Salvetat, plus en mesure que lui de juger du mérite de cet appareil, à compléter les quelques indications qu'il vient de donner à la Société.

M. Salvetat dit que l'on retrouve dans l'appareil de M. Siemens toute la théorie que M. Ebelmen a déduite de ses propres expériences sur les hauts fourneaux d'Audincourt. Actuellement on est en train, à la manufacture de Sèvres, d'essayer ces fours. M. Salvetat sera donc plus en mesure, dans une prochaine séance, de faire connaître des résultats vraiment pratiques. M. Salvetat ajoute que ces fours sont aussi essayés à l'usine à gaz de Grenelle, où les premières tentatives de leur application n'ont pas réussi, échec provenant peut-être de la température à obtenir dans la fabrication du gaz d'éclairage qui doit être bien inférieure à celle qui existe dans les fours des cristalleries. Il croit donc utile dans l'intérêt de la question de rassembler, pour une prochaine séance, tous les renseignements que l'on pourra obtenir sur les essais de ces fours en France.

M. Nozo demande à M. le Président s'il a connaissance du système employé en Angleterre pour le transport des dépêches au moyen de wagons roulant dans un tube, dans lequel on fait un vide partiel. Au lieu d'un tube de quelques centimètres de diamètre, on établirait un canal souterrain de plus de 2 mètres carrés de section, dans lequel circuleraient de véritables wagons, non-seulement destinés au transport des lettres, mais encore servant pour le transport des marchandises de toutes sortes.

M. le Président répond qu'en effet ce mode de transport à grande vitesse existe déjà à Londres pour de petits paquets, mais que l'expérience n'est pas suffisamment concluante pour étendre d'une manière générale ce mode de transport. Il y a du reste plus de six ans que M. Tresca a assisté aux expériences analogues faites par M. Galy-Cazalat; l'inventeur avait établi un tube cylindrique, d'une centaine de mètres de longueur, dans lequel étaient placées des boules métalliques creuses. Le diamètre de ces boules était notablement plus faible que le diamètre intérieur de la conduite, afin que les inégalités intérieures du tuyau ne viennent pas empêcher la circulation des boules; malgré le jeu qui existe entre les boules et la conduite, un vide incomplet suffit pour imprimer aux boules un mouvement assez rapide, pour que la difficulté de l'application de ce procédé de transport réside justement dans l'arrêt du véhicule au point voulu du parcours. Depuis lors, on s'est encore occupé des moyens analogues, car l'année dernière, parmi les crédits qu'on proposait à l'approbation de la Chambre, devait figurer un crédit de 40,000 francs affecté à des essais sur le transport souterrain des dépêches. La question ne fut pas décidée, mais toujours est-il que ce projet abandonné actuellement sera certainement repris et étudié à nouveau.

M. Nozo croit qu'il est très-facile d'arrêter les véhicules, qui transporteraient les dépêches, aux stations déterminées à l'avance. Car il a vu en Angleterre fonctionner très-convenablement l'appareil à ce point de vue. Il suffit pour cela de placer la tubulure, par laquelle on fait le vide dans le tuyau, à quelques mètres en avant de l'extrémité du tube, qui est clos par une porte. Lorsque le véhicule animé d'une grande vitesse a passé l'endroit de la tubulure d'aspiration, il continue son chemin en comprimant devant lui l'air, qui forme alors ressort et amortit successivement la vitesse du wagon, jusqu'à l'instant où la pression est suffisante pour ouvrir la porte extérieure; le véhicule, dont la vitesse est alors sensiblement nulle, se présente de lui-même à l'orifice du tube.

M. le Président rend compte à la Société des divers systèmes de pompes à incendie qu'il a eu l'occasion d'examiner en Angleterre. Tandis qu'en France on n'emploie que des pompes à incendie à bras, on se sert beaucoup en Angleterre et en Amérique de pompes à vapeur, beaucoup plus puissantes, traînées par des chevaux. Cette différence tient principalement à celle qui existe dans l'organisation du corps des pompiers; ainsi tandis qu'à Paris les pompiers, au nombre de 600 forment un corps payé par la ville, à Londres les pompiers, au nombre de 120 seulement, dépendent d'un capitaine qui ne reçoit d'autre allocation que celles des compagnies d'assurances. Par ces seuls chiffres on comprend que, les pompiers étant beaucoup moins nombreux à Londres, les postes sont plus éloignés les uns des autres; les secours sont en général moins prompts, ce qui nécessite des engins beaucoup plus puissants qu'en France.

M. le Président ajoute que les constructeurs de pompes à vapeur se sont appliqués à faire des machines, non-seulement remarquables par le soin de leur exécution, mais aussi par la facilité avec laquelle on peut les mettre en pression. Les uns ont trouvé le moyen de porter jusqu'à 5 atmosphères leur pompe à vapeur, dans l'espace très-court de 12 minutes. D'autres, trouvant ce temps encore trop considérable, entretiennent continuellement, par un bec de gaz, la température convenable dans la chaudière, de sorte qu'au moment du sinistre, il suffit de 3 ou 4 minutes pour obtenir la pression voulue dans la machine.

M. le Président a eu l'occasion d'assister aux divers essais comparatifs faits à Londres sur les différents systèmes de pompes exposées. Pour comparer le débit total de chaque pompe à incendie, on avait disposé parallèlement trois nasses suspendues en l'air à une pièce de bois. L'eau était dirigée avec soin vers ces nasses qui avaient la forme d'une espèce d'entonnoir, dont l'axe était légèrement incliné pour permettre à l'eau qui y entrait de s'écouler par un tuyau placé à l'extrémité opposée à leur ouverture. Ces nasses étaient composées d'une carcasse en fer recouverte d'une toile. Le tuyau, descendant de l'appareil, plongeait dans un réservoir où on pouvait jauger l'eau entrant dans la nasse, et c'était cette quantité que l'on prenait pour le rendement de la pompe. Les hommes chargés de diriger le jet, étaient placés en face des nasses à une même distance, et ils obéissaient simultanément au même commandement. On trouva par ce mode d'essais que, pour une grande hauteur et une grande distance, là où les pompes à vapeur envoyaient la moitié de leur eau dans la nasse, les pompes à bras ne pouvaient pas jeter le cinquantième de l'eau qu'elles aspiraient. On voit d'après cela que dans les sinistres, quand la chaleur empêche d'approcher, les pompes à vapeur sont très-utiles pour combattre l'incendie de loin, afin d'en rendre les abords possibles aux petites pompes. Il serait donc très-utile en France d'avoir des pompes à vapeur, qui viendraient soutenir et protéger nos pompes à bras.

M. Faure appuie l'opinion que vient d'émettre M. le Président, et rappelle que M. Falguière, constructeur à Marseille, avait parfaitement compris cette idée; quelque temps avant sa mort, il avait entrepris des essais dans le but de construire des pompes à vapeur; idée qu'il aurait certainement menée à bien s'il en avait eu le temps.

M. le Président indique à l'occasion du nom de M. Falguière les belles installations que l'on doit à ce constructeur dans les huileries de Bordeaux et de Marseille; il y employa pour la première fois ce qu'il appelait un accumulateur de force, qui alimentait toutes les presses hydrauliques, quelquefois au nombre de quarante. Cet ac-

cumulateur était une espèce de cylindre, dans lequel était un piston chargé de poids, tels que la pression de l'eau, sous ce piston, atteignait par exemple 100 atmosphères. Le système général des pompes alimentait d'eau cet accumulateur, qui était mis en communication, par des tuyaux, avec les presses hydrauliques, de manière que les ouvriers n'avaient qu'à tourner un robinet pour faire fonctionner leurs presses. Depuis, cet accumulateur a été modifié et amélioré par plusieurs constructeurs pour des applications analogues, il constitue un organe mécanique d'une grande importance et dont l'emploi pourra être fait avec avantage dans d'autres circonstances.

MM. Laurenzano, de Limoges et Levy (Emmanuel), ont été reçus membres de la Société.

Séance tenue à Londres, le 14 Juin 1862.

Présidence de M. Tresca.

La séance est ouverte à quatre heures vingt minutes.

Sont présents à la séance : invités, M. l'amiral Paris, M. le baron Séguier, Agudio et Buthil; membres, MM. Farcot père, Farcot (Léon), Farcot (Emmanuel), Farcot (Abel), de Bussière, Durenne, Ivan Flachat, Clairvaux, Achard, Trélat, Birlé, Émile Barrault, Salvetat, Chateau.

Après lecture du procès-verbal qui est adopté sans observation, M. Tresca demande si l'on a quelques nouveaux renseignements, depuis la dernière séance, sur la manière dont a été fabriquée la plaque de Butterley.

M. Trélat dit qu'il est constant maintenant que cette plaque a été établie en cinq morceaux, contrairement à ce qui avait été indiqué précédemment; il rappelle que, dans cet ordre d'idées, M. Eugène Flachat, dans la relation qu'il avait faite de son voyage en Angleterre à la Société des Ingénieurs, avait cité une fabrication de fers à T en deux parties (deux simples T soudés), établis pour le *Warrior*.

M. le Président dit qu'il a eu connaissance de la fabrication de pièces ayant jusqu'à 90 centimètres de hauteur, lesquelles sont établies par le laminage, sur des laminoirs spéciaux, des deux parties qui doivent former les bases du double T, et qui portent des tenons, ou projections venues en saillie, pour servir de moyens de soudure avec l'axe du double T.

La soudure se fait par un passage au laminoir.

M. Trélat préfère que la soudure soit faite sur l'axe neutre, parce que, dit-il, les points dangereux sont justement ceux qui sont les plus éloignés de cet axe, et parce que, dans le système exposé par M. le Président, les soudures se trouvent forcément aux points les plus dangereux de la pièce.

M. Farcot père dit qu'il y a une extrême difficulté à faire des soudures aussi grandes que celles qui sont nécessaires dans ce genre de fabrication.

Une discussion générale s'engage, d'où il ressort que l'on a déjà fait en France, aux forges de la Providence, des fers à T sans rivets, ayant 45 centimètres de haut; mais que c'est le maximum des dimensions obtenues.

On trouve en conséquence très-remarquable l'obtention de pièces ayant jusqu'à 90 centimètres de hauteur; mais un membre fait remarquer qu'il ne voit pas bien nettement la grande utilité de ce genre de pièces, avec des dimensions semblables.

M. L'AMIRAL PARIS répond que les pièces de 90 centimètres seront fort utiles pour les carlingues de navire et pour les ponts.

M. TRÉLAT insiste sur ce que, dans le système avec bases à projections soudées, le point dangereux sera toujours celui qui se trouve le plus éloigné de l'axe neutre.

M. DURENNE fait observer que les soudures sont faites à 15 centimètres des extrémités, pour des pièces de 16 mètres de long avec gousset rapporté. Il ajoute que l'avantage d'avoir les fers à T sans rivets à grandes dimensions, dont il vient d'être parlé, se trouve compensé par la cherté de la fabrication et la difficulté de la soudure, qui bien souvent est incomplète; en outre, avec l'emploi des rivets, les pièces possèdent une surépaisseur qui ajoute à leur solidité.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Farcot (Léon) quelles sont les observations qu'il a déjà faites sur l'exposition des machines-outils qu'il doit avoir étudiées.

M. FARCOT (Léon) signale la tendance des constructeurs et mécaniciens anglais à exagérer la force et les dimensions des machines-outils; par exemple, dans l'exposition de M. Withworth, les mêmes outils que, déjà en 1855, on trouvait trop massifs et trop lourds, sont établis plus lourds et plus massifs encore.

Il est évident que les machines-outils françaises devraient être établies avec plus de stabilité qu'on ne les fait ordinairement, afin d'éviter mieux les flexions et les vibrations qui se produisent, et qui exigent déjà des fondations plus fortes que celles d'autrefois. D'autre part, il semblerait convenable de rester en deçà des dimensions exagérées que les Anglais tendent encore à dépasser.

M. LE BARON SÉGUIER raconte à ce sujet que M. de la Morinière ayant voulu établir pour la marine des machines à raboter d'une grande puissance, cet ingénieur vint en Angleterre, examina les machines que l'on y fabrique, et les trouva trop fortes et surchargées d'un poids de fonte qu'il crut inutile.

En conséquence de ses observations, M. de la Morinière établit ses machines, en remplaçant les masses de fonte employées en Angleterre par de bonnes et solides nervures qui lui semblèrent devoir remplir le même but.

Une fois en travail, les machines, au lieu de produire un bon rabotage, firent une sorte de guilloché, résultat des vibrations qui se produisaient, et il fallut trouver un autre moyen de donner à la machine la stabilité qui lui était nécessaire, ce qui fut obtenu en interposant entre les nervures des bornes en grès, réunies par un ciment, et formant ainsi une sorte de mur.

Les machines-outils doivent donc ne pas vibrer, et pour cela on peut considérer qu'il leur faut non pas seulement la solidité suffisante, qui conduirait à de plus faibles dimensions que celles nécessaires, mais aussi la plus grande stabilité, qui exige des dimensions bien plus considérables. On est donc conduit à apprécier l'utilité de la masse, pour trouver dans l'inertie de la matière les moyens de résister aux vibrations, si nuisibles au bon travail des machines-outils.

M. FARCOT père dit qu'il a remarqué également, non pas des outils nouveaux, mais des outils spécialisés à un travail, tel par exemple que des machines à faire des mortaises, développées sous différentes formes et abordables de différents côtés. Des machines à forer avec outils horizontaux, d'autres avec outils verticaux, lesquels n'existent pas encore en France, et qui servent à obtenir des mortaises transversales.

des rainures d'arbres; à creuser des pièces, et à faire des fraisures de configurations diverses.

M. Tresca résume cette partie de la discussion, et signale cette tendance à la spécialisation des outils, qui résulte de l'examen général de l'Exposition de 1862, en même temps que les dispositions adoptées pour réunir deux outils sous la direction d'un seul ouvrier tendent aussi à se vulgariser.

On obtient un meilleur travail par la spécialisation des outils;

On réalise une économie de main-d'œuvre par la réunion de plusieurs outils sous la direction d'un même ouvrier.

M. le baron Séguier dit qu'en dehors des considérations générales excellentes qui viennent d'être successivement exposées, il croit de quelque utilité, pour compléter l'étude des machines-outils à l'Exposition de 1862, d'examiner quelques machines spéciales, dont les conditions de travail sont nouveaux.

Parmi les machines il a remarqué : 1° une machine à percer les longerons de locomotives, dont il signale la conception générale comme défectueuse, en ce sens que l'on n'a pu donner aux forets, qui sont disposés au nombre de trois, sur un grand et unique banc, un mouvement convenable, dans toutes leurs positions, qu'en employant quatre engrenages d'angles, disposés pour faire tourner le foret, à quelque point qu'il soit transporté. Il en résulte une assez grande complication, et les arbres de transmission de mouvement sont soumis à un effort de torsion considérable.

2° La machine à façonner les bielles d'accouplement, que l'on remarque à l'Exposition présente au contraire les conditions d'un excellent outil. Deux forets sont disposés pour travailler, tout en changeant de position, dans des conditions qui se trouvent réglées par un singe ou gabarit placé à l'arrière. Des coulisses qui portent les outils, butent contre le gabarit ou calibre, et donnent à l'outil les positions correspondantes pour effectuer le travail.

Les outils sont formés par une sorte de fraise-équarissoir, coupant par le bout et par les côtés.

On peut, avec cette machine, façonner tout le pourtour de la bielle. Elle est remarquable et fort ingénieuse.

3° Machine alésoir, pouvant faire des trous parallèles. Cette machine a son arbre porté par deux supports, coulissant dans les bâtis, qui sont solidarisés par la plaque de fondation.

L'inconvénient grave de cette machine, c'est que le service en est excessivement difficile; elle a constamment besoin d'être vérifiée et rectifiée, et ne porte pas en elle-même les éléments de ces rectifications nécessaires.

4° Par opposition, une machine suédoise, servant à raboter en long et en travers à volonté, paraît réunir les meilleures conditions de service; elle est admirablement bien faite et bien disposée; les pièces à travailler sont placées, il est vrai, en porte à faux, mais pour des dimensions qui ne sont pas exagérées, le service de la machine doit être excellent, et elle peut remplacer deux outils avec avantage et économie.

5° Comme exemple de machines réunissant deux outils, sous la main d'un même ouvrier, M. Séguier signale une machine à deux étaux limeurs, que l'on peut rapprocher à volonté.

6° Comme exemple de machines spécialisant un travail, il cite les machines à tailler les écrous de Withworth, Zimmermann et Ducommun. La machine de Withworth taille les écrous à l'aide de fraises, entre lesquelles on fait passer les surfaces à tailler; mais cette machine nécessite des affûtages difficiles.

M. Zimmermann, au contraire, ne se sert que de deux taillants, disposés pour faire le travail, à la manière de celui des machines à raboter. Ce genre de machine est bien fabriqué, et les outils peuvent s'éloigner, pour le placement des pièces et leur enlèvement; de plus, il n'y a que deux outils à aiguiser quand cela est nécessaire, et les réparations peuvent se faire avec la plus grande facilité.

En France, les machines Ducommun, que M. le baron Séguier a vues fonctionner à Besançon, font le même genre de travail, dans de très-bonnes conditions, avec une succession de burins carrés, portés par un seul et même mandrin.

M. de Bussière donne ensuite quelques explications sur les machines-outils qu'il a remarquées à l'Exposition, et spécialement sur un tour à tourner les tampons des chemins de fer, et sur un outil de MM. Smith et Peacocq, pour percer les trous et mortaiser les longerons.

Il indique également diverses dispositions de machines à écrous, de MM. Hartmann, Zimmermann et Reiss.

Sur la demande de M. le Président, M. de Bussière se charge de rédiger un travail spécial sur les machines à tailler les écrous.

M. le baron Séguier indique que dans certaines machines allemandes on fait usage de fer laminé en barres, à six pans, et que deux outils agissent ensuite sur cette barre, l'une pour couper l'écrou à la distance convenable, l'autre pour percer le trou central.

M. Penn, dit-il, fait les écrous encore autrement; il les découpe au balancier, dans une plaque de fer ayant justement la hauteur de l'écrou, et la régularité de l'opération est telle que l'on pourrait se servir de la plaque découpée comme d'une grille.

Il cite aussi une machine à réparer les tuyaux en cuivre des locomotives.

A ce sujet, M. Ivan Flachat dit qu'au chemin de fer d'Orléans on se sert depuis longtemps de cette disposition, après avoir préparé les tuyaux en bec de flûte.

M. Durenne indique qu'indépendamment des deux parties coniques, faites sur le tour parallèle, un petit rebord rabattu sert à maintenir le borax pour la soudure; il dit également que, à sa connaissance, on se sert depuis plus de six ans du balancier à main pour percer au poinçon, mais qu'il n'avait pas vu encore qu'on s'en servît pour river, comme l'a indiqué précédemment M. l'amiral Paris.

M. l'amiral Paris dit qu'il a remarqué à l'Exposition une machine portative à river sur place, au balancier. Cette machine peut river les contours des foyers, elle fait tout ce qui est à sa portée, après quoi on la démonte pour la remonter à nouveau. Elle opère avec une grande énergie et dans de bonnes conditions.

Sur une observation qui lui est faite par un des membres, M. l'amiral Paris dit que depuis quelque temps on a abandonné les enveloppes pour les machines marines, et qu'il a remarqué qu'il n'y avait pas avantage à donner trop d'eau au condenseur, parce qu'il arrivait que pour gagner un peu de vide, on refroidissait les organes, ce qui faisait compensation.

M. le baron Séguier dit à ce propos que depuis longtemps il a connaissance d'une manière d'opérer la condensation, qui lui semble plus rationnelle que celle suivie actuellement.

Sur le Rhône, un bateau nommé *l'Aigle*, à chaudière tubulaire, était disposé avec un appareil de condensation et d'injection, dans lequel, au lieu de laisser le robinet d'injection constamment ouvert, on avait placé une valve qui s'ouvrait de manière à ce que la plus grande quantité d'eau fût lancée au moment où il y avait beaucoup de

vapeur, tandis que cette quantité d'eau était beaucoup diminuée par l'abaissement de la valve, pendant le temps d'une arrivée de vapeur moins rapide.

Dans les machines actuelles, l'eau semble amenée à 32 degrés ; mais c'est par le mélange de l'eau à 45° que l'on obtient pendant la première partie de la condensation, avec l'eau à 18° qui résulte de la seconde partie.

Dans le système du bateau *l'Aigle*, on obtient toujours ou approximativement de l'eau à 30 ou 32 degrés.

M. L'AMIRAL PARIS signale la Suède comme un pays en très-grande voie de progrès. Il rappelle que déjà en 1855 l'exposition suédoise offrait un excellent type de machine à vapeur pour navire.

Dans une nouvelle machine, avec deux cylindres de Woolf concentriques et détente de 4/5, le bâti sert de condenseur, comme du reste cela avait déjà été fait à plusieurs reprises.

M. FARCOT dit à ce sujet que le volume de la pompe, dans cette machine, semble petit par rapport au volume des cylindres, et que les clapets sont également petits.

Une discussion s'engage sur la remarque faite par M. Farcot (Léon), sur la forme particulière donnée par M. Coals à la coque d'un modèle de bâtiment qui figure à l'Exposition. Cette coque présente la forme d'un œuf.

M. L'AMIRAL PARIS fait remarquer que cette forme présente l'inconvénient de ne permettre que le transport de très-faibles charges, et d'augmenter les difficultés de la construction, parce que toutes les coupes sont différentes.

Il est avantageux, dit-il, d'avoir au milieu du bâtiment des coupes cylindriques identiques ; on opère souvent l'allongement de certains bâtiments en les coupant par le milieu et y ajoutant des parties de même section.

M. L'AMIRAL PARIS indique que l'on a tenté de faire des bâtiments avec deux quilles latérales pour éviter le roulis.

M. TRÉLAT dit que les deux quilles étaient espacées d'environ 7 à 8 mètres, et comprenaient entre elles un espace à peu près plat.

M. LE PRÉSIDENT interroge sur leurs impressions MM. Trélat et Ivan Flachat, en les priant de signaler ce qu'ils ont vu de nouveau dans leurs spécialités.

M. TRÉLAT a remarqué, non à l'Exposition, mais dans Londres même, l'établissement des planchers des maisons d'habitation, qui diffère beaucoup de celui suivi actuellement en France.

En France, on fait des planchers à l'aide de fers à T, de manière à obtenir un plancher bien résistant, solide et cependant peu épais, ce qui permet d'augmenter la hauteur des appartements, ou le nombre des étages des maisons.

A Londres, on n'emploie le fer que pour empêcher la poussée des murs ; car on dispose au-dessus des fers à simple T, une couche de vingt-cinq à trente centimètres de béton.

D'autre part, M. Trélat fait ce rapprochement, qu'à Londres comme à Paris, on s'occupe en ce moment de l'écoulement des eaux, et que Londres dépense 75 millions pour écouler dans la Tamise, plus convenablement que par le passé, les eaux ménagères et les eaux pluviales.

Londres possédait sur les deux rives et normalement à la Tamise de grands égouts qui y aboutissaient directement, et rendaient constamment impures les eaux de ce fleuve. Le nouveau projet que l'on exécute consiste dans la construction de grands

égouts de ceinture, aboutissant à 13 ou 14 milles de Londres dans la partie inférieure du fleuve, par une pente douce.

Il existe le long de la rivière d'autres égouts, dans lesquels les eaux viennent se réunir à 35 ou 40 pieds au-dessous du niveau habituel. Les eaux ainsi accumulées sont enlevées par des pompes, et déversées dans des réservoirs spéciaux, que l'on ouvre tous les jours, pour les vider, pendant les deux heures de la pleine mer.

Séance tenue à Londres le 21 Juin 1862.

Présidence de M. Tresca.

Sont présents à la séance : M. le baron Séguier, MM. Tresca, Burel, Salvetat, Boudard jeune, de Bussière, Achard et Vegni.

M. Salvetat, faisant fonction de secrétaire, lit en l'absence de M. E. Barrault le procès-verbal de la dernière séance. La rédaction est adoptée.

M. le Président invite ceux des membres qui voudraient prendre la parole à faire connaître le résultat de leurs observations au sujet des différents objets qu'ils ont le plus particulièrement étudiés.

M. Boudard jeune, filateur à Pont-Rémy (Somme), expose le résultat d'expériences qui lui sont personnelles et qui tendent à faire admettre qu'il y a toujours intérêt dans la construction des machines à vapeur à augmenter la détente, en employant de forts volants.

M. Tresca fait remarquer que les constructeurs anglais ont depuis longtemps recherché l'économie du combustible dans les machines du Cornwall ; partout ailleurs cette question avait été négligée. Il est frappant de voir à l'Exposition la machine de Woolf se reproduire aujourd'hui sous un grand nombre de formes différentes, dans la machine suédoise de l'usine de Bergsund, dans la machine belge qui présente deux cylindres réunis bout à bout; on voit deux machines de Woolf à deux cylindres horizontaux agissant sur une même manivelle, ce qui donne une grande régularité d'action aux différents points de la course. On trouve encore deux petites machines anglaises, dans l'une desquelles l'admission dans le petit et le grand cylindre se fait par le même tiroir.

M. Burel observe qu'une disposition semblable pouvait être vue à l'exposition de Rouen en 1859, c'était la machine de MM. Boudier frères, jeunes constructeurs qui ont obtenu une grande médaille d'argent pour cette innovation.

M. le baron Séguier rappelle que dans certains cas la distribution se fait par le moyen de la coulisse de Stephenson et que M. Farcot a le premier détendu par le modérateur; Maudslay, dans le temps, a fait une tentative dans ce genre, et ses moyens ressemblaient beaucoup à la détente Meyer.

M. Boudard jeune croit devoir faire observer que, dans les machines les plus parfaites, la détente dans le petit cylindre n'était jamais variable autrement qu'à la main. L'emploi de la coulisse n'est réellement nécessaire que lorsqu'il y a nécessité de produire un renversement de marche, les autres détentes sont plus simples.

Abordant un ordre d'idées plus général, il ajoute qu'il est regrettable de voir la persistance de presque tous les constructeurs à conserver comme appareil régulateur

du mouvement le papillon, mû par un pendule conique, le papillon étant en réalité un organe très-peu favorable à l'emploi économique de la vapeur.

C'est ce qu'on peut résumer en disant que, si dans une usine en marche, la résistance vient à diminuer; par exemple, il y a plus d'avantage à maintenir la vitesse de régime en conservant la pression initiale de la vapeur, et en réduisant le volume admis, qu'en admettant un volume toujours constant de vapeur à une pression plus basse que précédemment, ce dernier résultat est la conséquence inévitable et fâcheuse de la manière dont fonctionne le papillon.

M. Burel appelle l'attention de la Société sur un problème qui lui semble intéressant et que M. Breugger vient de résoudre.

Depuis longtemps les constructeurs de machines préparatoires pour le coton cherchent le moyen de satisfaire à la double condition de fournir au filateur un boudin d'une grande régularité pour les fils fins, et de le produire avec une machine simple, dégagée de cette grande complication d'organes qui caractérise le banc à broches, dit *régulateur*.

En effet, il s'agit, dans le cas des fils très-fins, de donner d'abord un boudin aussi approché que possible du fil à produire, afin qu'obtenu avec un faible étirage, l'allongement modéré ne dépasse pas la longueur des fibres de la matière, ce qui produirait les *pointes* ou finesses résultant de l'entraînement fréquent des fibres abandonnées trop tôt.

Or, pour faire faire un boudin fin, une autre difficulté se présente, celle de son recueillement sur une bobine ou une âme quelconque, ou dans un récipient où il se dépose sans torsion.

Dans le premier cas, il faut un mécanisme compliqué, comme celui qui, dans les bancs à broches, produit l'enroulement avec une tension réglée au moyen de crémaillères qui devraient varier autant que les numéros ou les fractions de numéro du boudin, voire même avec la qualité de la matière et le degré de torsion qu'elle doit recevoir; on a alors les bobines molles à disques ou les bobines dures à extrémités coniques; les unes contenant peu de matière légèrement superposée, les autres un boudin d'une grande longueur, comprimé par l'action d'un ressort; mais toutes deux demandant une excessive mobilité de suspension pour se dérouler facilement sur le métier à filer.

Dans le second cas le boudin ne reçoit aucune torsion et s'empile, comme au rota-frotteur, dans une boîte, où il tombe naturellement en se repliant sur lui-même, et où l'ouvrière le foule de temps en temps avec un fouloir spécial; mais c'est surtout dans ce dernier cas que le transport et le débit du boudin, au métier à filer, sont gênants, sujets à de fréquentes ruptures, et irrationnels dans la comparaison qu'on en peut faire avec les autres parties du mécanisme.

Et pourtant on a dû constater à plusieurs reprises que, pour les numéros très-fins, ce mode de recueillement du boudin était encore celui qui convenait le mieux à un bon filage postérieur, parce qu'il conserve les fibres parallèles et telles que l'étirage les a données, tandis que la plus faible torsion, ainsi que la tension indispensable à l'enroulement même le mieux réglé, détruit partiellement la régularité du boudin.

M. Danguy jeune, de Rouen, est le premier qui ait donné, en 1858, une machine enroulant *positivement* sans torsion et avec le minimum de pression, sur une bobine à disques ou à esquives, et cette machine est une des meilleures qui aient été produites à ce point de vue. Mais on peut toujours lui faire le reproche d'un déroulement

difficile, sans une extrême mobilité du fuseau, qui doit être ici horizontal et par conséquent dans des conditions inférieures à celles de la bobine sur pivot.

M. Burel dit que M. Beugger reçoit son boudin dans un véritable pot tournant (*coiling can*), de la dimension d'une bobine ordinaire de banc à broches; ce pot est porté par une broche creuse, dont le fourreau monte et descend sur la broche fixe intérieure, qui lui communique le mouvement rotatoire. Le pot est donc, pour ainsi dire, l'épanouissement de la broche creuse; celle-ci reçoit le mouvement de *monte* et de *baisse*, du remplissage même du pot, par le boudin dont il va être question, mais elle est maintenue en pression contre le boudin entrant, par un simple contre-poids, agissant en sens contraire au moyen de chaînes passant sur des poulies et venant s'attacher à divers points du chariot qui porte tous les fourreaux. On voit par là que l'empilement, si l'on peut ainsi s'exprimer, s'opère sous une pression des plus faciles à régler, puisqu'elle peut varier entre 0 et un maximum qui dépend du poids accroché à la chaîne.

Voici comment le boudin, ou le fil, entre dans le pot : l'orifice de ce pot se termine et se clôt par un couvercle, ajusté à baïonnette et portant un petit appareil, le *coiler*, ou organe destiné à porter le boudin suivant un mouvement épicycloïdal, participant de deux générations, l'une qui est le produit de la rotation de tout le système, l'autre qui vient d'un second mouvement communiqué au *coiler* par un engrenage intérieur agissant sur le pignon qu'il porte sur son axe propre; cet axe est percé et surmonté du petit organe appelé communément *queue de porc*. C'est là que passe le fil, ou le boudin, qui s'empile ainsi en formant autant de petits cercles superposés qui ne peuvent jamais s'enchevêtrer les uns dans les autres pendant que le *coiler* fait ses révolutions sur lui-même et d'un nombre de couches illimitées, suivant la finesse et la pression.

Les avantages de ce système sont :

1° Que le boudin est à l'abri de toute atteinte d'accident extérieur, de l'effet de la force centrifuge, même de l'influence de l'air agité de l'atelier; cette circonstance permet de pousser la marche du métier à une vitesse considérable, ce qui est tout l'opposé des dispositions ordinaires où les broches sont condamnées à une lenteur qui réduit la production des bancs à broches, par exemple, à des quantités tellement minimes que, comme ils sont d'ailleurs très-chers, beaucoup de filateurs y ont renoncé. M. Beugger dit qu'il peut faire marcher ses broches à trois mille tours par minute; malheureusement il est impossible de vérifier ce fait à l'Exposition, faute d'une force convenable mise à la disposition de l'exposant.

2° Le débit du boudin ainsi obtenu est on ne peut plus satisfaisant, ainsi qu'on peut s'en convaincre en tirant le boudin d'une bobine sortie du pot, ce qui se fait au moyen d'une baguette de bois passée au début dans le centre du pot où elle est maintenue pendant la marche en bas par un disque mobile qu'elle traverse, et en haut par le couvercle où elle s'engage.

Lorsque la bobine est enlevée, on retire entièrement cette baguette et on pose le boudin, dégagé de tout obstacle, derrière le métier, à la manière de celui provenant du rota-frotteur, à cette exception près qu'il se trouve dans des conditions infiniment supérieures et en quantités beaucoup plus considérables.

M. Burel considère cette invention comme l'une des plus intéressantes de l'Exposition de Londres, notamment le mouvement du couvercle qui se communique au *coiler*.

M. Boudard ne pense pas que cette machine, tout en démontrant l'intelligence de

son auteur, puisse être applicable à la *filature du lin*, il ignore ce qu'il en serait pour la *filature du coton*, mais il doute qu'elle soit avantageuse.

Cette machine est simple, cela n'est pas douteux ; la bobine à fuseaux qui reçoit ordinairement le fil de préparation est remplacée par un cylindre métallique, dans lequel le fil vient se déposer régulièrement par couches planes formées d'une série de cercles successifs, tous tangents à la surface intérieure de ce grand cylindre et se croisant successivement autour d'un axe en bois, qui sert à enlever la bobine ; à mesure que la préparation arrive dans la boîte, le fond, qui est mobile à l'extrémité d'une broche centrale, s'abaisse doucement sous l'action d'un contre-poids. Quand ce fond, chargé de matière préparée, est arrivé au bas de sa course, la boîte cylindrique est pleine, et on enlève la préparation en bloc au moyen de l'axe en bois.

Mais, à côté de ces avantages il y a des inconvénients, M. Boudard les signale :

1° Le principal inconvénient de ce système, c'est que, la matière ne s'amassant que par son propre poids, au lieu d'être régulièrement roulée sur une bobine de bois, chaque bobine terminée contient très-peu de matière, tout en occupant beaucoup de volume. La machine doit donc être arrêtée souvent, ce qui cause une perte de temps considérable.

2° Le second inconvénient, c'est que le mouvement de descente du fond de la boîte étant invariable, et la matière ne se tassant pas par elle-même, chaque boîte, à la fin, contiendra d'autant moins de matière que la préparation sera plus fine, ce qui n'a pas lieu dans le système ordinaire.

3° Le troisième inconvénient résulte de ce que les boîtes cylindriques, les broches et autres appareils spéciaux, sont tellement lourds qu'il faut, comme le reconnaît M. Burel, une force relative considérable pour mener la machine, car il y a des surfaces de frottement concentriques longues et d'un grand diamètre.

4° Enfin, il est bon dans tout établissement d'avoir d'avance, pour entretenir la filature, une grande quantité de préparation ou de *filés en gros*, ne fût-ce que dans la prévision d'un chômage accidentel. Il y aurait donc à craindre que les bobines molles, obtenues sur cette nouvelle machine, ne se déformassent en magasin, et que, par conséquent, les spirales, si bien préparées d'abord par couches horizontales, ne vinssent à s'enchevêtrer plus ou moins les unes dans les autres ; il me semble que jusqu'à présent il y a encore lieu de préférer les bancs à broches ordinaires; malgré l'inconvénient qu'il peut y avoir à posséder un approvisionnement considérable et encombrant de fuseaux en bois. Quant à la complication du banc à broches par le mouvement différentiel, il suffit d'examiner, à l'Exposition, la nouvelle disposition adoptée par M. Combe de Belfast, pour se convaincre que cette machine tend tous les jours à se perfectionner, tout en se simplifiant.

Il y a, en outre, une nouvelle disposition principalement appliquée aux lins fins, dans laquelle toute complication disparaît par la suppression du mouvement différentiel. Dans cette machine la bobine est entraînée, par friction, au moyen d'un petit tambour en fonte qui pénètre entre ses deux joues. L'enroulement est alors constant, quel que soit le diamètre de la bobine, et pour empêcher la préparation de se mêler sans cependant se tordre, elle passe, préalablement humectée, sous un cylindre compresseur et chauffé, qui détermine une agglutination suffisante pour dispenser de toute torsion. Cette machine est analogue aux machines à bobines pour tissage.

M. le Président désire appeler l'attention de la société sur les métiers à tisser qu'on peut voir fonctionner à l'Exposition.

M. Boudard cite ce fait, que la vitesse de marche des métiers dépend de la qualité

du tissu, et que généralement on peut beaucoup augmenter cette vitesse ; il a vu des métiers qui ne donnaient que cent trente coups marcher régulièrement à cent soixante, et marcher également bien encore à deux cents ; on obtient, au moyen du métier Bruneaux, quand le dessin ne comporte pas plus de 50 trames, tous les avantages que présentent les machines anglaises au moyen d'une disposition particulière.

M. Tresca ne pense pas que cette disposition soit préférable au tambour de Vaucanson, qu'elle rappelle.

M. Boudard explique ensuite les dispositions de ce métier, qui fonctionne convenablement chez lui : le travail est facilité par une sorte de transposition du tambour et d'ouverture des fils, qui rend plus certain le passage de la navette, et permet de varier instantanément un dessin de 16 lames.

M. le Président rappelle la disposition de M. Durant qui présenterait quelque analogie avec le métier dont il est question ; il a vu faire chez M. Froment, avec un appareil de lecture électrique, des damassés très-fins ; le carton était remplacé par un simple papier.

M. le baron Séguier voudrait savoir si l'on trouve dans cet appareil les deux dispositions, l'une permettant d'écrire, l'autre permettant de lire. M. Bonelli avait fait son métier sans carton. M. Durant a maintenu la Jacquart, mais il fait usage du métier Bonelli pour percer le carton.

Parmi les autres machines qui ont trait à l'industrie du lin, M. Boudard cite les machines de Mertens à teiller le lin ; c'est une machine intéressante, qui donne de très-bons résultats et qui peut être rangée parmi les machines agricoles ; il a remarqué la machine à étaler le chanvre, de M. Combe, et encore une machine à faire des trames sans axe en bois également de M. Combe.

M. le Président demande à ceux des membres présents qui ont étudié l'industrie des lins, si les produits anglais valent mieux que ceux qu'on établit en France ; il croit que cette fabrication laisse en France beaucoup à désirer, surtout pour les fils d'étoupes.

M. Burel partage l'opinion de M. le président ; il pense que la cause existe dans le triage et le classement des lins que nous négligeons chez nous, alors qu'en Angleterre on lui donne le plus grand soin. Il paraît qu'en Russie on néglige cette opération première, aussi commence-t-on à régulariser les produits, au moment où la vente a lieu ; il y a quelques années on était certain de ne trouver en Angleterre que des matières d'excellentes qualités. Aujourd'hui les acquisitions portent sur des qualités différentes qu'il faut lotir ; c'est à cette variabilité des lins de Russie qu'il faut attribuer les prix des lins de Caux que l'Angleterre semble rechercher actuellement.

M. le Président cite à cette occasion une machine intéressante qui a pour but de trier les crins ; elle permet de diviser la masse en dix lots, au moyen d'organes analogues à ceux des machines à peigner le lin. On retrouve partout cette tendance à spécialiser les outils.

M. Burel entretient la Société d'une poulie différentielle qui lui semble représenter le principe théorique sous sa plus simple expression.

M. le baron Séguier fait observer que cette poulie n'agit pas seulement comme poulie différentielle, qu'il y a dans la gorge de la poulie des empreintes qui reçoivent la chaîne, et que cette chaîne, remplaçant la corde, s'encastre dans les cavités réservées dans la gorge, de manière à augmenter l'adhérence ; le petit appendice accessoire qu'on remarque à la partie supérieure n'est pas sans influence pour empêcher la chute du corps suspendu.

M. DE BUSSIÈRE fait part à la Société des observations qu'il a faites à l'Exposition sur les machines-outils destinées au travail du bois.

Il se réserve de consigner son opinion dans un travail plus étendu qu'il destine au bulletin ; il se borne, quant à aujourd'hui, à signaler les machines à raboter et les machines à mortaiser qu'il a vues fonctionner.

M. TRESCA fait observer que les machines à mortaiser présentent différents types bien marqués; l'introduction générale des *fraises* pour ce travail est un fait assez nouveau pour qu'il importe de le signaler. Pour obtenir un bon travail avec ces machines il est absolument nécessaire que le mouvement de transport du porte-fraise soit tout à fait régulier, et c'est ce que les constructeurs obtiennent au moyen de roues dentées elliptiques, disposées de manière à compenser les irrégularités périodiques de la transmission ordinaire, par bielle et manivelle.

M. LE BARON SÉGUIER fait observer que les machines à scier, en Angleterre, ont plutôt pour but de débiter des planches que de les préparer pour les usages auxquels on destine des bois bien dressés. Le sciage est en général excessivement mauvais. Elles présentent au bois à débiter une large voie qui consomme inutilement trop de matière, et qui, de plus, laisse l'empreinte de l'outil en rayures désagréables : il y a loin de là aux sciages opérés dans certaines manufactures françaises où la théorie du sciage est parfaitement entendue.

M. LE BARON SÉGUIER regarde, comme nécessaires à un bon travail, les conditions suivantes :

Donner du nez à la scie, surtout lorsqu'elle est verticale.

Faire progresser le bois à débiter pendant que la scie remonte.

Donner au mouvement alternatif de la lame une vitesse convenable.

N'employer que des scies *émouchées*, c'est-à-dire à dents forcées après l'affûtage, pour que le biseau coupe par une sorte de tarière plutôt que par un rasoir.

Faire usage de scies édentées et parfaitement bandées.

On conçoit très-bien que le travail doit être mieux fait lorsque le mouvement du bois se fait pendant que la scie ne travaille pas. On évite ainsi des frottements latéraux qui occasionnent des vibrations et des déchirures sur les surfaces mises à nu. En donnant du nez à la scie, le débit est plus régulier, les surfaces plus unies avec moins de voie et moins de frottement. Cette netteté de la surface dépend de l'affûtage de l'outil et de sa vitesse ; on peut atteindre une vitesse de deux cent quarante coups à la minute. La régularité des planches dépend alors du soin avec lequel on a recourbé, de dehors en dedans, l'extrémité des dents, de manière à arrondir les biseaux qui débitent les très-petits copeaux qui composent la sciure. On donne plus de force à la scie en enlevant quelques dents ; par exemple, l'expérience a démontré l'avantage qu'il y a, pour scier du bois de peuplier vert, à enlever deux dents sur trois. Un bandage très-roide s'oppose aux vibrations.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que cette théorie du sciage, présentée par M. le baron Séguier, peut utilement s'appliquer aux autres machines-outils qui ont pour objet de travailler le bois.

M. TRESCA demande à M. Salvetat s'il n'a pas à faire part à la Société de quelques-unes des observations qu'il a faites pendant son voyage dans le Staffordshire.

En réponse à cette question, M. Salvetat dit que l'excursion qu'il vient de faire à Stoke n'a pas modifié l'opinion, qu'il s'était faite à la vue de l'Exposition, sur la vitalité de l'industrie céramique anglaise. Les produits exposés dans la cour anglaise donnent, en effet, une idée bien réelle de l'importance de l'industrie principale du

Staffordshire. Sur une étendue d'environ un myriamètre, on trouve une agglomération de soixante-dix mille individus, de tout sexe et de tout âge, s'occupant de poteries. On peut compter cent cinquante fabriques de cailloutage, grès, porcelaine tendre, etc. On trouve l'un sur l'autre les villes ou villages suivants : Burslem, Goldenhill, Long-Port, New-Port, Hanley, Cobridge, Shelton, Cauldon-Place, Stoke et Etruria fondé par Wedgwood.

L'établissement le plus important est aujourd'hui celui de M. Minton, qui compte mille six cents ouvriers, dont trois cents femmes, réparties dans cinq usines différentes: une pour la faïence fine, une pour la porcelaine tendre et le parian, une pour les majoliques, une pour les carreaux incrustés, une autre pour les carreaux ordinaires.

L'esprit d'association est tel, qu'il existe même entre les concurrents. A proximité de ces fabriques est un atelier spécial et une fonderie à l'usage des usines plus spécialement affectées à la fabrication des poteries. M. Kirk, à Etruria, se charge de fournir aux fabriques tous les ustensiles de broyage, lavage, raffermissement des pâtes qu'ils peuvent désirer, et s'il y a des études à faire sur un système nouveau, ces études sont faites en quelque sorte à frais communs. Le patenté se borne en général à des droits de licence. On trouve donc que toutes les usines se ressemblent.

M. Salvetat a vu dans plusieurs fabriques un procédé nouveau de raffermissement des pâtes, et des appareils de broyage qui sortent des ateliers de M. Kirk. Les moulins sont exécutés sur le même modèle; il en est de même des presses, qui fonctionnent avec une grande rapidité, il en donnera la description dans un article spécial rédigé pour le bulletin.

Contrairement à l'opinion qu'on pourrait se faire *à priori*, l'exposition anglaise représente réellement l'état de l'industrie anglaise et non des tours de force, préparés en vue de l'exhibition. L'usine de M. Minton possède un magasin de vente dans lequel se retrouvent, prêts à être livrés, tous les spécimens exposés, et l'atelier des carreaux, dits *encaustic tiles*, n'est pas le moins intéressant à visiter pour les personnes qui sont au courant de l'industrie similaire française.

En s'écartant du chemin direct pour rentrer à Londres, M. Salvetat dit avoir visité quelques fabriques de produits réfractaires; il a vu en plein champ, sur une exploitation houillère, vingt fours employés à cuire les briques, tuyaux, etc., exposés par MM. Gibbs et Canning. Sur le même emplacement, à Glascott-Colliery, près Tamworth, on trouve l'argile et le combustible; douze machines à faire des tuyaux à brides, d'environ 60 centimètres de diamètre, fonctionnent journellement. Les magasins sont en plein vent, sans autre garantie contre le dol que leur propre masse et le respect de la propriété, plus accepté dans les campagnes que dans les villes.

Il est évident qu'avec une telle organisation, une telle série de grandes ressources, s'il n'y avait dans nos habitudes et dans les qualités des produits qu'on fabrique en France des garanties de sécurité pour l'avenir, l'industrie céramique aurait beaucoup à faire chez nous pour ne pas être sérieusement éprouvée sur notre propre marché. Heureusement tous les fabricants ont compris qu'ils pouvaient lutter, et quelque dures que soient actuellement les conditions imposées au producteur, il a fait voir par de récentes baisses de prix qu'il fabriquerait encore. Le consommateur y aura toujours gagné.

La séance est levée à cinq heures et demie.

ANALYSE ET RÉSUMÉ

DU RAPPORT DE M. EUGÈNE FLACHAT,

SUR LES LOCOMOTIVES

DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1862,

PAR M. J. VERRINE.

DIVISION DU RAPPORT.

Le rapport de M. E. Flachat est divisé en quatre parties principales :

La première est l'aperçu sommaire des progrès accomplis, depuis l'Exposition universelle de 1855, dans la construction des machines-locomotives ;

La deuxième contient le détail des progrès réalisés par la France;

La troisième, le précis des mérites spéciaux constatés chez les exposants français et étrangers ;

La quatrième renferme l'indication des mesures à l'aide desquelles le gouvernement pourrait seconder les efforts de l'activité privée et supprimer les entraves qui paraissent y faire obstacle.

CHAPITRE I.

APERÇU SOMMAIRE DES PROGRÈS ACCOMPLIS, DEPUIS L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1855, DANS LA CONSTRUCTION DES MACHINES-LOCOMOTIVES.

Les progrès accomplis depuis l'Exposition universelle de 1855, dans la construction des machines, sont de deux natures :

1° Spécialisation des machines, c'est-à-dire leur appropriation aux besoins et aux exigences du service qu'elles ont à accomplir ;

2° Application des découvertes, des procédés, et des dispositions nouvelles que la science et l'esprit d'invention ou d'observation apportent à l'industrie en général.

SPÉCIALISATION DES MACHINES.

L'accroissement progressif et continu du nombre de voyageurs à transporter par les trains express a nécessité des transformations dans la construction des *machines à un seul essieu moteur*, dans le but d'accroître leur puissance, c'est-à-dire la surface de chauffe et l'adhérence.

De ces deux termes constitutifs de la puissance, le premier n'a pas atteint sa limite, mais, depuis longtemps déjà, le second a atteint la sienne. Cette limite se trouve dans le poids servant à l'adhérence porté par les roues motrices, poids qui ne peut pas dépasser 13 tonnes, sans altérer rapidement les bandages et les rails.

Cette limite de puissance atteinte, et le nombre et le poids des véhicules allant toujours croissant, il a fallu ou faire des trains express plus fréquents en conservant les mêmes machines, ou se condamner à perdre en vitesse, en appliquant les machines mixtes aux trains rapides, ou enfin trancher la question en créant un nouveau type réunissant à la fois les conditions indispensables de stabilité, de vitesse et de puissance.

Les *machines à deux essieux couplés*, ont été appliquées aux trains rapides, à cause du surcroît d'adhérence et de puissance qu'elles offrent sur les machines à deux roues motrices; mais la diminution de vitesse qui est la conséquence de leur mode de construction en empêche l'emploi général et fait désirer une autre solution.

Toutefois, ces machines sont précieuses pour le service des trains omnibus et directs, et pour celui des trains mixtes de voyageurs et de marchandises, principalement sur les lignes où les inclinaisons dépassent 6 millimètres.

Elles ont également subi des transformations dans le but d'augmenter leur puissance par l'accroissement du poids porté sur les essieux moteurs et de la surface de chauffe.

L'économie qui résulte de l'emploi de fortes *machines à marchandises* pour remorquer les trains de marchandises a fait continuer la recherche des moyens d'obtenir une forte production de vapeur et un grand effort de traction avec un poids de moteur, approvisionnements compris, aussi restreint que possible. Là où les trains sont lourds et où les lignes ont de fortes inclinaisons, de nouvelles combinaisons se produisent pour profiter de toute l'adhérence du poids de la machine, du tender, et des approvisionnements, en accouplant quatre, cinq, et même six essieux moteurs. Les approvisionnements et la surface de chauffe étant augmentés à peu près dans le même rapport, on réalise l'amélioration la plus urgente et la plus désirable, c'est-à-dire l'économie et la rapidité des transports.

APPLICATION DES DÉCOUVERTES, DES PROCÉDÉS ET DES DISPOSITIONS NOUVELLES QUE LA SCIENCE ET L'ESPRIT D'INVENTION OU D'OBSERVATION APPORTENT A L'INDUSTRIE EN GÉNÉRAL.

Cette longue nomenclature des moyens d'amélioration empruntés à l'industrie en général, à la science et à l'esprit d'invention ou d'observation comprend :

L'injecteur Giffard pour l'alimentation des chaudières.

Les différentes formes de *foyers* construits dans le but, soit de brûler le combustible du plus bas prix, soit de mieux utiliser la chaleur, soit de conserver les chaudières, et d'employer la houille pour les trains de voyageurs en brûlant la fumée, soit enfin d'augmenter la surface de chauffe et de grille, et par suite la puissance de vaporisation.

Les *sécheurs* appliqués pour la première fois aux machines-locomotives dans l'intention de diminuer la quantité d'eau entraînée mécaniquement par la vapeur, et d'accroître à la fois l'effet utile du combustible et celui de la vapeur.

Les doubles cylindres substitués aux contre-poids pour produire une stabilité plus complète des organes de la machine en mouvement, dans le sens horizontal comme dans le sens vertical, et pour diminuer l'usure des bandages et de la voie.

Un nouveau moyen d'accouplement d'essieux non parallèles, pour profiter de l'adhérence du tender, permettant en même temps la circulation de la machine en vitesse dans des courbes de très-faible rayon.

L'emploi de quatre cylindres au lieu de deux, soit pour commander deux essieux moteurs libres de machines express, afin d'augmenter l'adhérence, et de remédier aux inconvénients de la diminution de vitesse résultant de l'emploi d'essieux couplés, soit pour commander six essieux moteurs par groupes de trois dans les machines à marchandises, et remédier ainsi au défaut d'adhérence et aux inconvénients résultant de l'accouplement d'un trop grand nombre d'essieux.

Les différents moyens appliqués récemment et avec succès pour diminuer le frottement des machines au passage des courbes de faible rayon, tels que :

Les bogies;
Le jeu des essieux dans les boîtes à graisse;
Le système d'attelage à balanciers et les osselets de C. Polonceau;
Les ressorts horizontaux de M. Caillet;
Les plans inclinés de M. Forquenot.

Cette nomenclature comprend encore : un frein à vapeur plus énergique et plus prompt que les freins ordinaires.

Des balanciers compensateurs attachés aux ressorts pour répartir la

charge sur les roues aussi uniformément que possible dans toutes les conditions de l'approvisionnement.

L'emploi de tôles de grandes dimensions pour les chaudières et les longerons; de tôles d'acier pour les chaudières, de l'acier fondu et puddlé dans la fabrication des bielles, manivelles, tiges et glissières de piston, essieux, boîtes à graisse, bandages, roues, etc.; ce qui permet d'obtenir de meilleurs résultats, soit sous le rapport de la construction, soit sous celui de l'entretien.

Enfin, les faits d'observation tendant à fixer les rapports jusqu'à présent incertains, entre la surface de la grille et la section des tubes; le diamètre des tubes et leur longueur; le volume de vapeur et d'eau, et la surface de chauffe; la hauteur de la cheminée et son diamètre; la section de la tuyère d'échappement et la section de la cheminée; la section de la cheminée et celle du passage d'air à travers la grille, etc., etc.

CHAPITRE II.

PROGRÈS ACCOMPLIS PAR LA FRANCE.

Ce chapitre, qui est le développement du précédent, en ce qui concerne la France, est divisé comme lui en deux parties :

Spécialisation des machines-locomotives.

Application des découvertes, des procédés et des dispositions nouvelles que la science et l'esprit d'invention ou d'observation apportent à l'industrie en général.

SPÉCIALISATION DES MACHINES.

1° *Machines à voyageurs. Locomotives à un seul essieu moteur.*

Il y a, en France, deux types de machines à un seul essieu moteur. Dans l'un, les roues motrices sont placées entre quatre roues porteuses; dans l'autre (système Crampton), les roues motrices sont à l'arrière de la machine, à la suite des roues porteuses.

Afin de conserver les locomotives à un seul essieu moteur aussi longtemps que possible, pour le service des trains express et ordinaires de voyageurs, on a dû augmenter constamment les éléments qui en constituent la puissance. Le tableau suivant montre les modifications que ces machines ont subies sous ce rapport.

ANNÉES.	NORD.		EST.		ORLÉANS.	
	Poids servant à l'adhérence.	Surface de chauffe.	Poids servant à l'adherence.	Surface de chauffe.	Poids servant à l'adhérence.	Surface de chauffe.
	tonnes.	m.2	tonnes.	m.2	tonnes.	m.2
1845 à 50	9,2 à 11,0	62 à 78	8,4 à 9,8	65 à 72	7,6 à 11,4	70 à 79
1850 à 55	11,0 à 12,0	78 à 94	9,8 à 10,3	72 à 97	11,4 à 12,3	79 à 86
1855 à 60	»	94 à 99	»	»	»	»
1860 à 62	12,0 à 13,6	»	»	»	12,3 à 13,0	86 à 101

Cet accroissement de puissance a permis de porter le nombre des voitures des trains express de 8 à 15 sur certaines lignes, de 8 à 12, ou de 8 à 10 seulement sur d'autres, suivant le profil des lignes, la vitesse, le poids des véhicules. Mais la limite de 13 tonnes sur les roues motrices, au delà de laquelle les rails et les bandages s'altèrent rapidement, ne suffit plus, sur certaines lignes, au démarrage rapide dans les gares, ni à l'ascension des rampes dans la mauvaise saison.

Locomotives à deux essieux moteurs accouplés ou libres.

Ce n'est qu'avec répugnance que, faute d'adhérence, on substitue aux locomotives à un seul essieu moteur les machines à deux essieux couplés pour le service des trains rapides. La bielle d'accouplement est, en effet, un obstacle sérieux aux grandes vitesses, à cause des dangers de rupture. En outre, l'accouplement engendre une perte de travail qui augmente avec l'usure inégale des roues accouplées. Aussi la vitesse est-elle notablement moindre sur les lignes où les trains express sont remorqués par des machines de ce genre.

Mais, spécialisées au service des trains ordinaires de voyageurs et aux trains mixtes, ces machines rendent de grands services à cause du surcroît d'adhérence et d'effort de traction qu'elles offrent sur les machines à un seul essieu moteur. Leur puissance a toujours été en augmentant, comme le prouve le tableau suivant, et la limite de l'adhérence est déjà atteinte.

ANNÉES.	NORD.		EST.		ORLÉANS.	
	Poids servant à l'adherence.	Surface de chauffe.	Poids servant à l'adhérence.	Surface de chauffe.	Poids servant à l'adhérence.	Surface de chauffe.
	tonnes.	m.2	tonnes.	m.2	tonnes.	m.2
1845 à 50	15,2 à 22,4	74 à 125	14,5	65	17,2 à 20,4	83 à 104
1850 à 55			14,5 à 18,6	65 à 89	20,4 à 22,4	104 à 116
1855 à 60			18,6 à 21,5	89 à 99	22,4 à 24,0	116 à 128
1860 à 62	22,4 à 21,4 (1)	125 à 164	»	»	»	»

1. Express et trains ordinaires de voyageurs.

Afin d'éviter les inconvénients résultant de l'emploi de machines à roues couplées pour le service des trains express, la Compagnie du chemin de fer du Nord a créé le type à deux essieux moteurs indépendants et à quatre cylindres qui offre à la fois les mêmes avantages que les machines à deux essieux couplés sous le rapport de l'adhérence et de la production de vapeur, et que les machines à un seul essieu moteur si favorables aux grandes vitesses. Ce type de machine dont la surface de chauffe est de 164^{m2}, et le poids servant à l'adhérence de 19^{t}0, permet donc de concilier les plus grandes vitesses avec les trains les plus chargés et les arrêts les moins fréquents. Il est destiné à exercer l'influence la plus favorable sur la rapidité des trajets à grande vitesse et sur l'économie des transports.

2° *Machines à marchandises.*

Locomotives à 3, *à* 4, *à* 5 *et à* 6 *essieux accouplés.*

Le développement du trafic a exercé sur l'augmentation de la puissance des machines à marchandises une influence plus sensible encore et plus prompte que sur les machines à voyageurs. A cette cause d'accroissement de la puissance se joignait, en outre, l'économie qui résulte de l'exploitation par trains complets aussi lourds que possible.

Aussi la machine à trois essieux couplés, universellement adoptée, est-elle bientôt devenue insuffisante, bien que le poids servant à l'adhérence y ait été porté à 33 et 35 tonnes, et la surface de chauffe à 135^{mq}. Arrêté à cette limite de la charge sur les essieux, on a cherché l'augmentation de puissance dans l'accroissement du nombre des essieux moteurs. De 3, on est passé à 4; de 4 à 5, et enfin, de 5 à 6.

L'emploi des machines à quatre essieux moteurs a permis de porter l'adhérence à 39 et 40 tonnes dans les machines dont le foyer s'appuie en partie sur le tender (système Engerth); et au même chiffre dans les machines tender dites *de fortes rampes* de la Compagnie du Nord. Ce dernier type résume les améliorations des machines à quatre essieux couplés : par la suppression du tender, il économise, comparativement aux *grosses Engerth*, un poids inutile de 20 à 22 tonnes ; en faisant participer les approvisionnements à l'adhérence, il en porte le chiffre à 40 tonnes en moyenne, ce qui est le maximum des machines de ce type.

Nous n'avons pas à parler ici des machines à cinq essieux couplés, puisqu'aucune machine française de ce type ne figure à l'Exposition.

L'insuffisance d'adhérence des machines à quatre essieux couplés a amené la Compagnie du Nord à créer un nouveau type à quatre cylindres et à six essieux couplés par groupes de trois essieux. Le poids servant à l'adhérence y est porté à 57 tonnes 1/2 au maximum, 54 en moyenne, et la surface de chauffe à 213^{mq}.

Le tableau suivant donne une idée de l'augmentation progressive de la puissance des machines à marchandises.

ANNÉES.	NORD.		EST.		ORLÉANS.	
	Poids servant à l'adhérence.	Surface de chauffe.	Poids servant à l'adhérence.	Surface de chauffe.	Poids servant à l'adhérence.	Surface de chauffe.
	tonnes.	m.2	tonnes.	m.2	tonnes.	m.2
1845 à 50	21,0 à 23,2	67 à 74	24,6	86	22,3 à 28,9	69 à 114
1850 à 55	23,2 à 33,9	74 à 126	24,6 à 26,8	86 à 100	28,9 à 30,7	114 à 137
1855 à 60	33,9 à 40,3	126 à 197	26,8 à 39,4	100 à 196	30,7 à 37,0	137 à 140
1860 à 62	40,3 à 54,0	197 à 213	30,9	125	37,0 à 38,0	140 à 209

En résumé, le progrès des machines-locomotives, en général, ne se manifeste pas par le choix d'un type unique approprié aux exigences, quelles qu'elles soient, du trafic, mais, au contraire, par la création d'un grand nombre de types appropriés chacun à des exigences spéciales ; en un mot, le progrès se manifeste par la spécialisation des machines.

APPLICATION DES DÉCOUVERTES, DES PROCÉDÉS ET DES DISPOSITIONS NOUVELLES QUE LA SCIENCE ET L'ESPRIT D'INVENTION OU D'OBSERVATION APPORTENT A L'INDUSTRIE EN GÉNÉRAL.

Alimentation des chaudières. Injecteur Giffard.

Cette invention, qui constitue une des plus heureuses simplifications des machines, en général, est appliquée sur presque toutes les machines envoyées à l'Exposition. La rapidité avec laquelle cet appareil a été adopté dans tous les pays, principalement pour les locomotives, s'explique par les grands avantages qu'il offre sur les pompes. Ces avantages se résument dans un fonctionnement tout à fait indépendant de la vitesse, et la faculté d'alimenter en repos. L'inconvénient qu'il présente, de ne pas permettre d'élever la température de l'eau d'alimentation, est de médiocre importance pour les machines faisant de longs trajets sans stationnements intermédiaires. En outre, les mécaniciens expérimentés savent régler leur feu pendant les stationnements, de façon à éviter l'élévation inutile de la pression ; et le souffleur leur permet de la relever, au besoin, avec une grande rapidité.

COMBUSTIBLE. FOYERS.

La France se trouve dans de moins bonnes conditions que l'Angleterre, sous le rapport du combustible. A égalité de dimensions de foyer, le combustible anglais produit plus de vapeur ; il la produit plus vite, plus

régulièrement, plus à la volonté du mécanicien; il exige moins d'attention, de soins et de nettoyages de la grille.

Malheureusement, le foyer est, de toutes les parties constitutives de la machine, considérée comme véhicule, le plus difficile à placer. L'accroissement de la surface de chauffe, en entraînant un accroissement proportionnel de surface de grille, la substitution de la houille au coke, en exigeant plus d'espace, sont venus accroître encore la difficulté.

M. Engerth, en faisant reposer une partie du poids de la machine sur le tender, pouvait accroître beaucoup les dimensions du foyer en superficie de grille et en hauteur de la chambre de combustion.

La séparation du tender de la machine ou sa suppression ont amené l'emploi de moyens nouveaux. La Compagnie d'Orléans adopte le foyer Tenbrinck, qui, grâce au bouilleur, offre une surface de chauffe de 10mq40. La Compagnie du Nord tranche radicalement la question, en plaçant la grille au-dessus même des roues, de sorte que la hauteur seule du foyer se trouve aujourd'hui limitée. Elle obtient de cette façon une surface de grille de 2m 62 dans ses machines à fortes rampes, et 3m 33 dans celles à six essieux couplés.

FOYERS FUMIVORES. FOYERS TENBRINCK ET TONI FONTENAY.

Les machines locomotives doivent, d'après les règlements, brûler leur fumée. Dans l'impossibilité d'obtenir ce résultat avec la houille, les Compagnies ont longtemps brûlé du coke, puis de la houille et du coke, lorsque l'élévation du prix de ce combustible en a rendu l'emploi exclusif désavantageux. On est arrivé ainsi insensiblement à ne plus employer que de la houille sur certaines lignes, et l'on a reconnu qu'indépendamment d'une combustion plus rapide, elle donne, aussi bien que le coke, une production abondante et régulière de vapeur, et qu'elle est aussi favorable à la conservation de la surface de chauffe. Enfin aujourd'hui on cherche à employer toute espèce de houille, et sous toute espèce de forme.

On demande donc actuellement aux foyers de brûler toute espèce de houille, fumeuse ou non, de bonne ou mauvaise qualité, de grosseur ordinaire ou en *menus;* de brûler complétement tous les gaz combustibles; de faire disparaître la fumée ou plutôt d'en empêcher la formation par la combustion des hydrocarbures, qui en sont la source principale; de brûler non-seulement la houille en *menus*, mais encore les briquettes qui sont, par la nature même de leur fabrication, plus fumeuses encore que la houille; de permettre l'entretien facile et peu dispendieux des appareils. On exige encore que la fumivorité ne soit pas produite au détriment de la production de vapeur ni aux dépens d'une consommation exagérée de combustible, par une introduction d'air en proportion trop considérable. On demande enfin aux foyers de présenter une aussi grande

surface de chauffe que possible, et d'avoir de l'*élasticité*, c'est-à-dire la faculté de proportionner l'activité de la combustion au travail à produire.

Il faut avouer que toutes ces conditions qui sont, pour ainsi dire, aussi essentielles les unes que les autres, ne sont pas toutes réalisées par les appareils dont nous avons à nous occuper.

La plus désirable, celle de la combustion de la houille sous la forme où elle est le plus maniable et au meilleur marché, c'est-à-dire en menus, est réalisée par le *foyer Belpaire*. La surface de grille a été notablement augmentée de façon à pouvoir charger le combustible sur une mince épaisseur (5 centimètres environ). L'air nécessaire à la combustion passe facilement à travers cette couche, ce qui n'aurait pas lieu avec de fortes épaisseurs. La grande longueur de la grille, son inclinaison, le chargement du combustible à l'avant seulement, et une conduite intelligente du feu, donnent avec les houilles ordinaires une fumivorité suffisante.

Ce foyer se compose, comme on le sait, d'une grille inclinée à barreaux très-nombreux et très-rapprochées, terminée par une petite grille à bascule pour se débarrasser des mâchefers. La grosseur des barreaux de grille et l'espace qui les sépare varient suivant la nature du combustible employé. L'écartement ordinaire est de 4 millimètres. La porte du foyer est très-large afin de faciliter la conduite du feu, le chargement et le nettoyage de la grille. Cette porte est percée de trous pour injecter de l'air au-dessus du combustible; un registre permet d'en modérer et d'en supprimer l'admission.

Cette description succincte d'une invention belge n'est pas ici à sa place; nous ne l'avons donnée que pour faire nettement ressortir l'application des principes de construction indiqués précédemment.

Ce qui caractérise surtout le *foyer Tenbrinck*, c'est le parti que l'on a tiré du *rabat* destiné à contrarier les courants de gaz, à les échauffer et à les brûler complétement dans un long contact. Ce rabat, qui jusqu'à présent avait été en briques réfractaires, a été transformé par M. Tenbrinck en bouilleur. Cet appareil réunit en outre diverses dispositions qui sont depuis longtemps en usage sur les machines fixes, mais qui n'avaient pas encore été appliquées aux locomotives. Telles sont, la trémie inclinée et fermée, destinée à remplacer les portes de chargement, et à produire l'introduction lente de la houille pour en distiller d'abord les gaz avant d'en compléter la combustion; la grille inclinée à 35 ou 40° qui se charge d'elle-même au fur et à mesure de la consommation; la grille mobile à l'extrémité de la grille inclinée pour faire tomber les mâchefers; le jet d'air à la surface du combustible destiné à mélanger les gaz et à en compléter la combustion; enfin le *souffleur* à la base de la cheminée.

Cet appareil donne de bons résultats et il commence à être employé

sur une grande échelle par la Compagnie d'Orléans. Cette solution toutefois nous semble encore imparfaite, en ce sens que la surface de chauffe directe n'est pas augmentée par le bouilleur, puisqu'il intercepte le rayonnement de la grille sur une surface du foyer égale à la sienne. Les bouilleurs verticaux, employés fréquemment en Angleterre, ont au contraire l'avantage d'augmenter considérablement la surface de chauffe directe. Cependant l'application de ce foyer n'a pas amené de réduction de la puissance de vaporisation, mais il ne paraît pas qu'elle l'ait augmentée. Son rôle se bornerait donc à obtenir la fumivorité[1].

Mais, en somme, cet appareil est un pas nouveau fait dans la voie du progrès et il constitue une amélioration digne d'être signalée.

Le foyer Toni Fontenay, basé comme le précédent sur l'emploi d'un bouilleur en forme de rabat, diffère du foyer Tenbrinck en ce que le chargement se fait par la porte et que le bouilleur est attaché à la paroi antérieure de la boîte à feu au lieu de l'être à la plaque tubulaire. L'inclinaison du bouilteur est donc inverse dans les deux appareils. Mais il résulte de la disposition adoptée par M. Toni Fontenay que la conduite du feu est plus facile, et que l'air froid qui entre par la porte est forcé, avant de s'introduire dans les tubes, de passer sur la surface du combustible qui distille et du combustible incandescent : ce qui n'a pas lieu dans le foyer Tenbrinck.

SÉCHEURS.

Le tumulte de l'ébullition, causé par une production rapide et considérable de vapeur, donne naissance au phénomène de l'*entraînement mécanique de l'eau par la vapeur*. Cette eau entraînée[2] passe dans les cylindres, où elle diminue l'effet utile de la vapeur et empêche le fonc-

1. Le foyer Tenbrinck vient d'être récemment modifié par M. Bonnet : les changements consistent dans le mode d'introduction d'air et dans la suppression de la trémie. On charge par la porte et l'air est introduit au-dessus du combustible par une série de trous à travers la face antérieure du foyer dans les machines neuves, ou derrière cette surface, au moyen d'une palette et d'un rabat dans les machines anciennes auxquelles on adapte ce foyer.

Ce foyer est certainement moins fumivore que le foyer Tenbrinck; mais il a, sur ce dernier, l'avantage d'être applicable à des grilles de très-grandes dimensions sur lesquelles on ne songera jamais à adopter la trémie, à cause de l'impossibilité de répartir uniformément le combustible sur toute la surface de la grille, et de conduire le feu convenablement. Le foyer Bonnet a encore sur le foyer Tenbrinck l'avantage d'offrir une surface de chauffe directe plus grande, puisqu'il supprime la trémie qui tient sur la face antérieure du foyer une place considérable.

Enfin, les frais de transformation des machines sont beaucoup moins coûteux.

J. V.

2. L'expérience semble établir que cette quantité d'eau varie entre $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{8}$ de l'eau qui entre dans le générateur.

tionnement régulier des organes. Il en résulte, en outre, une consommation inutile d'eau et de combustible.

Les appareils sécheurs ont pour but, non de surchauffer la vapeur, mais de convertir en vapeur une grande partie de l'eau entraînée mécaniquement. Ce séchage doit s'arrêter au point où la vapeur perdant toute son humidité, perdrait en même temps sa propriété lubrifiante, et ferait gripper les tiroirs et les pistons. Ces appareils doivent être disposés de façon à ne pas présenter d'obstacle à l'écoulement et ne pas diminuer la pression de la vapeur en en augmentant la vitesse de sortie.

Le sécheur adapté aux machines de la Compagnie du Nord est placé horizontalement sur la chaudière. C'est une espèce de cheminée tubulaire dont les tubes en fer ont 80 millim. de diamètre extérieur, et 3 millim. d'épaisseur. Les gaz chauds au sortir de la première boîte à fumée ordinaire font un retour, traversent le sécheur, et sortent dans l'atmosphère par une cheminée horizontale, recourbée verticalement à son extrémité et qui se trouve ainsi au-dessus de la tête du mécanicien. Un abri protége celui-ci de la fumée, des cendres et des crachements accidentels. L'appareil est disposé de façon à ce que les gaz passent à la fois dans les tubes et au pourtour du corps cylindrique contenant la vapeur.

La surface de chauffe des sécheurs est de 12 à 14^{mq}.

L'expérience prouve que la différence de température des gaz, à l'entrée et à la sortie du sécheur, est de 40 à 50 degrés qui sont absorbés au profit du séchage de la vapeur. Cela correspondrait, d'après un calcul approximatif, à une économie de *second ordre*, d'environ $\frac{1}{32}$, représentant 1/2 kilog. pour une consommation de combustible de 16 kilog. par kilomètre. Mais il est certain qu'une économie de premier ordre résulte de la manière dont se comporte la vapeur séchée. Cela ressort de la consommation comparative de deux machines Crampton faisant le même service, l'une avec, et l'autre sans sécheur. La consommation dans la machine munie d'un sécheur est de 2 kilog. moindre que dans l'autre.

Telles sont les dispositions employées par la Compagnie du Nord, pour diminuer l'entraînement mécanique de l'eau, et par suite la consommation du combustible.

La Compagnie d'Orléans, de son côté, cherche à obtenir le même résultat en augmentant le volume de vapeur et d'eau par mètre carré de surface de chauffe, ainsi que la surface supérieure de l'eau, c'est-à-dire la surface de sortie de la vapeur à travers l'eau.

Cette disposition atténue le principal inconvénient, celui d'exiger l'étirage de la vapeur par une ouverture limitée du régulateur. Mais l'entraînement de l'eau n'a pas tout à fait cessé d'être une préoccupation pour le mécanicien dont l'expérience et l'habileté ont la plus grande influence sur la conduite de la chaudière et sur l'emploi de la vapeur.

MOYENS EMPLOYÉS POUR FACILITER LA CIRCULATION DES MACHINES DANS LES COURBES DE FAIBLE RAYON.

Le parallélisme des essieux couplés engendre dans les courbes un frottement qui augmente considérablement avec la longueur de la base rigide et avec la raideur de la courbe. Afin de faire disparaître cette cause de ralentissement de vitesse, de diminuer les pertes de travail et l'usure des bandages, qui sont la conséquence de ces frottements énergiques, on a imaginé de donner aux essieux extrêmes ou à l'essieu du milieu un jeu qui leur permet de se déplacer perpendiculairement à la voie, par la pression des boudins contre les rails.

Pour empêcher la rupture des bielles d'accouplement, par suite de ce changement de position des essieux, on construit les bielles avec des articulations horizontales et des tourillons légèrement sphériques.

Les différents moyens usités en France pour faciliter le passage de la machine dans les courbes figurent sur les locomotives françaises de l'Exposition. Ce sont :

Les trucks ou bogies.

Le jeu des essieux dans les boîtes à graisse.

Les osselets de Polonceau.

Les ressorts horizontaux de M. Caillet.

Les plans inclinés de M. Forquenot.

Les attelages à articulation et à balancier.

BOGIES.

Les trucks ou bogies sont des avant-trains de support à deux ou quatre roues sur lesquels repose une partie de la machine au moyen d'une cheville ouvrière. Cette disposition, en diminuant la longueur de la base rigide, facilite le passage des courbes.

JEU DANS LES BOÎTES A GRAISSE.

La disposition la plus simple consiste à permettre le mouvement longitudinal de l'essieu dans les boîtes à graisse, en en réglant l'amplitude suivant les courbes de la ligne. Le grave inconvénient de cette disposition, surtout lorsqu'elle est adaptée aux essieux extrêmes, est de favoriser l'action des forces perturbatrices qui tendent à faire tourner la machine horizontalement autour de son centre de gravité, c'est-à-dire à produire ce que l'on appelle généralement le mouvement de lacet.

OSSELETS DE POLONCEAU.

Cet appareil se compose d'une pièce en acier ayant la forme d'un triangle isocèle, arrondi aux angles, reposant par son sommet sur la

boîte à graisse, et portant sur sa base la tige des ressorts, ou inversement. On conçoit que cette pièce peut prendre des positions plus ou moins inclinées, suivant la pression des boudins contre les rails. La limite de l'inclinaison serait celle où l'une des faces du triangle deviendrait verticale. Dans cette disposition, l'osselet serait renversé si la poussée des roues continuait, ou resterait incliné si la pression cessait. Il faut donc, pour que l'appareil revienne de lui-même à sa position normale, que la direction de la face du triangle soit suffisamment inclinée à l'horizon. Il en résulte que, pour un jeu de 15 ou 20 millim., la base du triangle s'agrandit, et l'effort nécessaire pour le déplacement initial de l'essieu croît proportionnellement.

RESSORTS HORIZONTAUX DE M. CAILLET.

Les tiges des ressorts de suspension, solidaires du châssis, sont terminées à leur partie inférieure par un support plan, nommé glisseur, qui repose sur les boîtes à graisse. Entre ces glisseurs et au-dessus de l'essieu, se trouvent deux traverses horizontales creuses, d'une longueur de 30 centimètres environ chacune, et dans l'intérieur desquelles passe un petit arbre qui porte deux ressorts de translation. Cet arbre peut glisser dans les traverses, et sa position normale est fixée par la tension des ressorts qui viennent butter contre les branches des traverses.

Il résulte de cette disposition que, lorsque la pression sur les boudins des roues dépasse la tension initiale des ressorts, la boîte à graisse qui porte contre les traverses opère sur elles une poussée qui fait glisser l'arbre, et force en même temps les glisseurs, et par suite le châssis, à glisser sur les boîtes à graisse.

L'avantage de cette disposition consiste, suivant l'inventeur, en ce que la pression exercée par le boudin contre le rail pour déterminer le déplacement de l'essieu étant dépendante de la tension initiale des ressorts de translation, on peut réduire cette tension initiale jusqu'à la limite à laquelle on produirait le mouvement de lacet. Il en résulte que le déplacement transversal des essieux peut avoir lieu sous l'influence de faibles pressions.

PLANS INCLINÉS DE M. FORQUENOT.

Les tiges des ressorts de suspension sont terminées par un plan incliné, reposant lui-même sur un autre plan incliné porté sur les boîtes à graisse. De l'autre côté du châssis se trouve une disposition symétrique.

Cet appareil a tous les avantages du précédent, puisqu'il permet, en faisant varier l'inclinaison des plans, de régler la pression nécessaire pour le déplacement transversal de l'essieu à la limite exigée par la stabilité de la machine en voie droite. Il a sur l'appareil Caillet l'important avantage d'une grande simplicité et d'une grande légèreté.

En résumé, le mode d'action de ces quatre dispositions est complétement distinct.

Avec le simple jeu dans les essieux, la pression nécessaire pour produire le déplacement est très-faible dans toutes les positions de l'essieu.

Avec les osselets, cette pression, très-forte au commencement, va toujours en s'affaiblissant. Avec les ressorts horizontaux, elle va, au contraire, en croissant.

Enfin, avec les plans inclinés, elle est constante.

Pour compléter cette description des moyens employés pour faciliter la circulation des machines dans les courbes de faible rayon, nous aurions encore à parler des attelages à balancier avec tampons obliques entre la machine et le tender, dont le but est de supprimer la résistance oblique qui, dans l'attelage ordinaire, tend à faire sortir les roues de la voie; ainsi que de l'attelage qui se fait sur un ressort Brown, par un crochet long et articulé, avec une espèce de cheville ouvrière rapprochant le centre d'attelage le plus possible de l'essieu d'arrière; enfin de l'appareil Stradal.

Mais ces dispositions figuraient déjà aux Expositions antérieures à celle de 1862.

MOYENS EMPLOYÉS POUR L'ACCOUPLEMENT DE CINQ ESSIEUX, AFIN DE FAIRE PARTICIPER LE TENDER AU POIDS SERVANT A L'ADHÉRENCE.

Aucune des dispositions inventées en France par MM. Beugniot, Gouin, Larpent, Rarchaert, Roy, ne figure à l'Exposition.

L'Autriche seule expose une disposition nouvelle et fort intéressante d'accouplement de 5 essieux, dont nous donnons la description plus loin dans le chapitre consacré à l'exposition allemande.

PROGRÈS DANS LA FABRICATION EN GÉNÉRAL.

L'acier tend à remplacer le fer dans la construction des machines locomotives, avec une supériorité incontestable et un caractère pratique qu'il est impossible de méconnaître. C'est un des faits caractéristiques de l'Exposition de 1862. Déjà nous voyons, dans les machines françaises exposées, des bandages de roues en acier fondu et laminé, ou en fer cémenté et laminé; des boîtes à graisse en acier fondu, ou en fer forgé et trempé en paquet; des bielles motrices et d'accouplement, des tiges et des glissières de piston, des essieux coudés et droits en acier fondu, le corps des chaudières fabriqué lui-même en tôles d'acier de grandes dimensions. Il est facile de prévoir le moment où l'emploi de l'acier s'étendra à la fabrication des roues, du châssis et des autres parties constitutives de la machine.

Mais il faut reconnaître que l'inégalité dans la qualité des aciers est encore un grave obstacle à l'utile substitution de ce métal au fer, et re-

connaître aussi que l'Exposition constate une infériorité manifeste de la France vis-à-vis de l'Angleterre, mais surtout de l'Allemagne, au point de vue de la fabrication de l'acier [1].

Les progrès de la fabrication du fer sont très-apparents. Ils se montrent dans les roues dont le moyeu, les rais, le cercle, la manivelle et le contre-poids font partie du même bloc; dans la fabrication de châssis découpés, avec les plaques de garde, dans une seule pièce; dans les boîtes à graisse, dans l'emploi pour le corps des chaudières de tôles de grandes dimensions qui permettent de diminuer notablement les clouures.

RÉDUCTION DU POIDS INUTILE DES MACHINES LOCOMOTIVES.

La substitution d'un métal plus résistant et plus durable, les améliorations dans la fabrication en général des différents organes de la locomotive et leur simplification, ont pour résultat immédiat et important la perfection des conditions de sécurité du service. Elles ont permis de porter la pression de la vapeur dans les chaudières à 9 atmosphères. Elles diminuent les frais d'entretien des machines et permettent par la réduction des épaisseurs de métal d'en diminuer le poids inutile.

Le métal qui entre dans la constitution d'une machine sert à quatre objets : 1° à produire la vapeur; 2° à transmettre la puissance aux roues motrices; 3° à porter la machine sur les rails; 4° à contenir les approvisionnements.

Il est clair, qu'à part la question d'adhérence, le poids de l'ensemble doit être aussi faible que possible puisqu'il constitue un poids mort qui diminue d'autant le poids utile que la machine est susceptible de remorquer. Le but à atteindre est donc une forte production de vapeur et un grand effort de traction obtenus avec un poids moteur, approvisionnements compris, aussi restreint que possible. Par conséquent, pour un poids moteur donné, il faut économiser sur le poids du mécanisme, des supports, du tender, et employer cette économie de métal à l'augmentation de la surface de chauffe, c'est-à-dire de la puissance des machines [2].

Afin de bien faire ressortir les progrès accomplis dans cette voie depuis l'Exposition de 1855, nous donnons, dans le tableau ci-après, le poids en métal par mètre carré de surface de chauffe.

1. Dans l'état actuel des choses, deux espèces d'acier seulement offrent des garanties sérieuses d'homogénéité et de durée, ce sont : l'acier de cémentation fondu, qui provient de fers très-purs et triés, et l'acier de Krupp.

J. V.

2. A ce point de vue, la suppression du tender commencée sur les lignes de l'Ouest et du Midi par M. Flachat, et continuée sur la ligne du Nord par M. Petiet dans les machines à fortes rampes, et les nouvelles machines à 4 cylindres, est le fait le plus logique et qui a amené l'économie de poids la plus considérable et la plus utile.

J. V.

TABLEAU

représentant la diminution progressive du poids des machines-locomotives, par mètre carré de surface de chauffe.

MACHINES.	ANNÉES de construction.	NOMBRE d'essieux moteurs.	SURFACE de chauffe.	POIDS A VIDE de la machine et du tender.	POIDS D'EAU dans la machine et le tender, combustible et outils.	POIDS de la machine et du tender avec les approvisionnements.	Poids de l'ensemble par mètre carré de surface de chauffe.		OBSERVATIONS.
							à vide.	avec les approvisionnements.	
A VOYAGEURS.									
Système Stéphenson	1846	1	74^{m2}.00	27.100^k	8.600^k	35.700^k	366^k	483^k	
Buddicom	1846	1	62 .58	22.200	7.600	29.800	355	476	
Crampton	1849	1	106 .00	32.400	11.400	43.800	324	438	A 7 atmosphères.
South-Eastern	1859	1	103 .00	34.000	11.000	45.000	330	436	
Crampton nouvelles	1860	1	97 .39	34.300	12.000	46.300	354	477	A 8 atmosphères.
Sturrock (Great Northern)	1862	1	98 .00	45.250	16.400	61.650	462	631	A 9 —
Mac. Connel (exposée) I	1859	1	80 .00	39.500	14.500	54.000	494	675	— London et Northwestern.
Ramsbottom-Northwestern (exposée)	1862	1	92 .90	38.500	15.000	53.500	415	575	London and Northwestern,
Neilson et Compagnie (exposée)	1862	1	100 .00	37.800	15.200	53.000	378	530	Caledonian rail-way.
Haswell, chemins autrichiens (exposée)	1862	1	124 .92	39.700	19.330	59.030	316	471	
4 cylindres, Compagnie du Nord	1862	2	167 .00	35.600	12.600	48.200	213	290	En essai.
MIXTES.									
Stéphenson transformée	1849	2	74 .00	29.200	8.600	37.800	395	510	Nord.
— (exposée)	1860	2	96 .75	38.000	15.300	53.300	383	530	North-Eastern.
Engerth	1856	2	125 .50	36.300	11.100	47.400	290	378	Nord.
A MARCHANDISES.									
Bourbonnais	1858	3	133 .00	36.650	14.350	51.000	275	382	
Petites (Système Stéphenson)	1846	3	74 .00	29.400	9.600	39.000	397	527	Nord.
Moyennes Creusot	1852	3	126 .60	38.900	12.800	51.700	308	408	Nord.
Engerth (Grosses)	1856	4	197 .00	45.800	17.000	62.800	232	319	Nord et Est.
— (Haswell exposée)	1862	5	122 .91	35.174	11.576	46.750	286	380	Bannat-Autriche.
Fortes rampes	1859	4	124 .00	27.100	9.500	36.600	218	295	Nord.
id. id. nouvelles	1862	4	167 .00	31.700	11.500	43 200	190	258	Sécheur allongé, 9 atmosphères.
Orléans et Midi nouvelles	1862	4	205 .00	52.000	17.500	69.500	254	339	En construction, Cail, et comp.
4 cylindres, 6 essieux couplés	1862	6	213 .00	42.500	14.100	56.600	200	264 (1)	— Gouin.

1. La différence de 6 kilos avec le poids de la machine à fortes rampes nouvelle, n'indique pas une infériorité dans le rapport du poids brut à la surface de chauffe, puisque l'approvisionnement d'eau entre pour 12 kilos de plus dans cette machine.

BALANCIERS COMPENSATEURS.

L'égalité rigoureuse du diamètre des roues couplées est, comme on le sait, nécessaire à leur fonctionnement normal. Il faut donc que l'usure des bandages des roues couplées soit égale pour le même parcours. Cela nécessite une grande homogénéité de matière composant les bandages, et une égalité aussi complète que possible de répartition du poids sur les essieux moteurs, dans toutes les conditions d'approvisionnement.

Les balanciers compensateurs, qui figuraient d'ailleurs déjà à l'Exposition de 1855, ont pour but de maintenir entre deux roues la relation de poids établie dès l'origine. Ils ont en outre pour résultat de répartir sur quatre ressorts les chocs produits sous une roue par les inégalités de la voie.

PROGRÈS DUS A L'OBSERVATION.

Nous avons dit à propos des sécheurs, que la Compagnie d'Orléans diminuait la quantité d'eau entraînée mécaniquement par la vapeur en augmentant le volume de vapeur et d'eau par mètre carré de surface de chauffe, ainsi que la surface de l'eau.

Après des essais comparatifs, on est arrivé à reconnaître que les meilleurs résultats étaient obtenus lorsque le niveau de l'eau était situé à 250 millimètres au-dessus du centre de la chaudière. La dernière rangée des tubes est donc à 150 millimètres au-dessus du même centre. Pour les volumes d'eau et de vapeur par mètre carré les plus favorables, on est arrivé aux chiffres suivants:

	Eau.	Vapeur.
Machines à voyageurs	27 litres.	15 litres
— mixtes	28 —	19 —
— à marchandises	26 1/2 —	16 —

Mais il faut reconnaître que ce moyen de diminuer la quantité d'eau entraînée mécaniquement augmente le poids inutile des machines, et que ces chiffres conduisent, pour des surfaces de chauffe de 200 mètres carrés, à un poids d'eau et de chaudière considérable.

En ce qui concerne le rapport de la surface de la grille à la section totale des viroles des tubes, la Compagnie d'Orléans s'est arrêtée au rapport $\frac{5}{1}$. Ce chiffre est précisément moitié de celui qui est admis par la Compagnie du Nord ($\frac{10}{1}$) dans les machines exposées à grilles Belpaire. Cette différence s'explique par la différence même des foyers et la nature du combustible; il est évident, en effet, que le rapport doit croître au fur et à mesure que le combustible est étalé en couches plus minces sur la grille.

Il résulte d'expériences [1] faites au chemin du Nord : 1° Qu'une cheminée de section donnée *produit son maximum d'effet* lorsqu'on fait la hauteur égale à six ou huit fois le diamètre. Une hauteur plus grande influe peu sur le tirage; plus petite, elle amène une diminution rapide de l'effet utile.

2° Que l'éloignement de la tuyère d'échappement de l'entrée de la cheminée paraît sans influence sensible sur le tirage tant que la distance ne dépasse pas trois fois le diamètre de la cheminée; au delà, l'effet utile diminue rapidement.

3° Une section de passage de l'air à évacuer, et une section de tuyère étant données, il y a une section de cheminée qui donne le maximum d'appel.

4° Pour une section d'échappement donnée et une pression constante dans la tuyère, la quantité d'air appelée, ainsi que la section de la cheminée donnant le maximum d'appel, augmentent avec la section d'appel d'air.

5° Un poids de vapeur donné, dépensé dans le même temps sous différentes pressions, c'est-à-dire avec des sections d'échappement variables, appelle à travers une section de passage donnée, et avec la cheminée convenable pour chaque section d'échappement, une quantité d'air qui augmente avec la pression de la vapeur, ou ce qui revient au même, à mesure que l'orifice de l'échappement diminue.

6° Il résulte de ce qui précède que la section de la cheminée qui donne le maximum d'air appelé ne dépend que de la section de passage dans les grilles et dans les tubes.

7° Lorsqu'on fait varier, dans le même rapport, la section d'appel, la section de l'échappement et celle de la cheminée, on obtient, pour une même pression dans le réservoir d'échappement, des quantités d'air appelé qui sont aussi sensiblement dans le même rapport.

8° Un échappement multiple, agissant sur une cheminée tubulaire, devra appeler, à travers un obstacle donné, une quantité d'air égale à celle qu'appellerait un échappement unique d'une section égale à la somme des échappements partiels, appliqué à une cheminée unique, d'une section égale à celle des tubes de la cheminée tubulaire, avec cet avantage : qu'il suffira de donner aux tubes de la cheminée tubulaire une hauteur égale à 6 ou 8 fois leur diamètre.

1. Extrait du rapport de fin d'année de M. Nozo (1861).

CHAPITRE III.

PRÉCIS DES MÉRITES SPÉCIAUX CONSTATÉS CHEZ LES EXPOSANTS FRANÇAIS ET ÉTRANGERS.

1° *Exposition française.*

L'exposition française était représentée par cinq exposants : Mme Veuve Polonceau; J.-F. Cail et Cie, Parent, Schaken, Caillet et Cie; la Compagnie du chemin de fer d'Orléans; la Compagnie du chemin de fer du Nord, avec MM. Ernest Gouin et Cie; MM. J.-J. et A. Meyer.

Il n'y a que 3 machines exposées, ce sont :

Une machine à voyageurs, par la Compagnie d'Orléans;

Une machine à marchandises, par M. Cail et Cie;

Une machine de fortes rampes, par la Compagnie du Nord.

Madame Veuve Polonceau expose le modèle au $\frac{1}{10}$ d'une *machine à marchandises à huit roues couplées*, projetée par son mari.

Ce qui caractérise surtout cette étude, c'est l'emploi d'un essieu coudé auxiliaire, ne portant rien du poids de la machine, et destiné seulement à recevoir le mouvement des pistons et à le transmettre aux roues motrices qui sont portées sur quatre essieux droits. L'écartement des essieux extrêmes n'est que de 4 mètres pour des roues de 1m,25.

Pour faciliter le passage de la machine dans les courbes de petit rayon, la machine est munie des osselets et de l'attelage à balancier.

La surface de chauffe est de 200 mètres carrés et le poids de la machine pleine de 42 tonnes.

J. F. Cail et Ce, Parent, Schaken, Caillet et Ce, exposent *une machine à six roues couplées pour service mixte*. Cette machine, qui a déjà parcouru 21,000 kilomètres, faisait un service mixte de voyageurs et de marchandises dans les districts du centre du chemin d'Orléans, où les courbes sont nombreuses et à faible rayon, et où les inclinaisons sont fortes. — L'écartement des essieux extrêmes est de 3m,48 pour des roues de 1m,52.

Cette machine est munie des ressorts horizontaux de M. Caillet et du système d'attelage à balancier de Polonceau.

Les roues en fer forgé ont leurs contre-poids en fer soudés.—Les bielles motrices et d'accouplement sont en acier fondu. — Le châssis est d'une seule pièce avec les plaques de garde. L'alimentation est faite au moyen de deux injecteurs Giffard.

La Compagnie du chemin de fer d'Orléans expose *une machine à voyageurs à un seul essieu moteur*, construite dans les ateliers de la Compagnie et munie d'un foyer Tenbrinck, des osselets, et de l'attelage à balancier de

Polonceau. Elle est alimentée par un injecteur Giffard à débit constant de M. Pradel. Mais l'appareil à débit constant, dont le principal avantage est d'être moitié moins cher que le Giffard ordinaire, présente quelquefois l'inconvénient d'être insuffisant. Cet inconvénient force à faire usage de deux injecteurs à débit constant.

Les fusées des essieux sont graissées à l'huile au moyen de tampons graisseurs, placés dans le dessous des boîtes. Les tôles fournies par MM. Petin et Gaudet pour la chaudière sont de grandes dimensions. L'enveloppe du foyer est d'une seule pièce.

Les cylindres et tout le mécanisme de la distribution sont extérieurs.

L'écartement des essieux extrêmes est de 4m,30; la surface de chauffe est de 101 mètres.

Les roues de support pleines en fer sont forgées par le procédé Arbel. Les bandages sont en acier naturel d'Allevard; les essieux sont en fer fin. La machine pèse vide 25960 kilog., et en service 28940 kilog. Le poids servant à l'adhérence est en moyenne de 12700 kilog.

La Compagnie d'Orléans expose, en outre, le dessin d'*une machine à marchandises à huit roues couplées*, en construction chez MM. Cail et Ce. Cette machine a un foyer Tenbrinck dont la surface de chauffe est de 10mq,40. L'écartement des essieux extrêmes est de 4m,08 pour des roues de 1,287 de diamètre. La surface de chauffe totale est de 205 mètres carrés. La machine pèse vide 37500 kilog., pleine 43000. Ce poids sert à l'adhérence.

La Compagnie du Midi a également adopté ce type, mais sans disposition spéciale du foyer.

La Compagnie du chemin de fer du Nord expose une de ses *machines à marchandises* dites *de fortes rampes à quatre essieux couplés.*

Cette machine tender est munie d'un foyer Belpaire pour brûler des menus; elle porte au-dessus de la chaudière un sécheur et une cheminée horizontale. Le tirage étant dû à la transmission d'une partie de la puissance vive de la vapeur à la fumée, il importe peu que la cheminée soit verticale ou horizontale, pourvu qu'elle ait une longueur égale à 6 ou 8 fois le diamètre. L'emploi du sécheur, indépendamment des avantages que nous avons énoncés précédemment, a permis de réduire le volume de vapeur et de mettre un plus grand nombre de tubes dans le même générateur.

La longueur des tubes n'est que de 3m,5; l'expérience a prouvé que le refroidissement des gaz était ainsi complet, ou plutôt que l'utilisation du combustible était aussi complète qu'avec des tubes de 4m,50 et 5 mètres. Cette faible longueur permet d'en diminuer l'épaisseur. La machine est alimentée par deux injecteurs Giffard. Le châssis est formé d'une seule pièce de chaudronnerie. L'attelage se fait sur un ressort Brown au moyen d'un crochet à longue tige articulée avec une espèce de cheville ouvrière rapprochant le plus possible le centre de l'attelage de

l'essieu d'arrière. Les roues sont entièrement en fer forgé et les contre-poids venus de forge. La machine vide pèse 35 tonnes, pleine 43; le poids moyen servant à l'adhérence est de 39 tonnes. La surface de chauffe est de 167 mètres carrés. L'écartement des essieux extrêmes est de 3m,33 pour des roues de 1m,065 de diamètre. Le jeu laissé dans les boîtes à graisse permet de passer en vitesse dans des courbes de 200 mètres de rayon.

La Compagnie du Nord expose les dessins d'*une machine à voyageurs à quatre cylindres et à deux essieux moteurs indépendants* et ceux d'*une machine à marchandises à quatre cylindres et à six essieux moteurs.*

Nous avons énoncé précédemment le but de ces innovations; nous venons à propos de la machine de fortes rampes, d'indiquer les dispositions principales qui lui sont communes avec ces deux machines; il ne nous reste qu'à donner quelques détails et quelques-unes des dimensions principales.

Ces deux types de machines en construction actuellement chez MM. Gouin et Ce, ont une surface de chauffe de 167 mètres carrés dans la machine à voyageurs, et de 213 mètres carrés dans la machine à marchandises. Le poids moyen servant à l'adhérence est de 19 tonnes dans la première et de 54 dans la seconde.

La machine à 4 cylindres à voyageurs est montée sur 5 paires de roues, dont 3 paires porteuses de 1m,06 de diamètre, et 2 paires motrices de 1m,60. Ces dernières sont mues chacune par deux cylindres de 0m,36 de diamètre et de 0,34 de course. Avec un diamètre de roues motrices relativement faible, qui a l'avantage de diminuer le poids mort, on espère obtenir la même vitesse de marche qu'avec les grandes roues de 2m,30, tout en diminuant la vitesse des pistons. Il aura suffi de réduire la course des pistons au chiffre ci-dessus pour obtenir ce résultat, et il en est résulté que pour une vitesse de marche de 72 kilomètres, la vitesse des pistons qui est actuellement de 3m,33 pour les roues de 2m,10, ne sera que de 2m,70 dans les machines nouvelles. L'écartement des essieux extrêmes est de 5m,17, il assure une grande stabilité; le jeu laissé aux trois essieux porteurs dans les boîtes à graisse permet de passer en vitesse dans des courbes de faible rayon.

L'emploi d'un double mécanisme ne paraît pas présenter de difficulté: les deux distributions de vapeur sont commandées par le même levier de changement de marche; il y a deux régulateurs distincts pour avoir la faculté de régler l'admission de la vapeur dans les cylindres de chaque groupe. Enfin la diminution de poids des pièces du mouvement et de la course, en atténuant l'influence perturbatrice résultant du mouvement alternatif de ces pièces, donne à la machine à quatre cylindres une plus grande stabilité.

Le centre de gravité y est plus élevé, à la vérité, que dans les machines Crampton, mais il est plus bas que dans les machines express à grandes

roues généralement employées en Angleterre. Cette machine sera en état de remorquer quinze voitures de voyageurs à 72 kilom. à l'heure, ou vingt-quatre voitures à 50 kilomètres sur une rampe de 5 millim.

Dans la machine à 6 essieux moteurs et à 4 cylindres, l'écartement extrême des essieux est de 6 mètres; mais un jeu de 3 centim. des deux essieux extrêmes permet de passer dans des courbes de 200 mètres de rayon. La faible vitesse à laquelle marchent les machines à marchandises et leur longue base rendent cette disposition sans influence sur la stabilité et en particulier sur la faculté de résister au mouvement de lacet.

Cette machine pourra remorquer un train de 240 tonnes sur rampe de 20 millim.; avec une machine de renfort on remorquera un train de 220 tonnes environ de poids brut sur rampe de 40 millim. et de 160 tonnes sur rampe de 50 millim.

Ces trois types, comme le prouve le tableau qui précède, sont d'une grande légèreté relative. Le poids en métal par mètre carré de surface de chauffe qui était, par exemple, de 526 kilog. dans les petites locomotives à marchandises du Nord, de 417 dans les moyennes, de 319 dans la grosse Engerth, n'est que de 258 dans la locomotive de fortes rampes envoyée à l'Exposition.

Afin que le ciel du foyer de ces machines ne soit pas découvert à la descente sur des pentes un peu fortes, on lui donne une légère inclinaison montant de l'avant vers le fond du foyer; si cette inclinaison est de 20 millim. par exemple, le ciel du foyer deviendra horizontal sur une pente de 20 millim., et il sera recouvert d'une couche d'eau d'égale épaisseur sur toute sa surface.

Mais comme les niveaux d'eau ordinaires ne suffiraient pas pour indiquer au mécanicien qui ne connaît pas parfaitement le profil de la ligne, si le niveau de l'eau est convenable pour une rampe ou une pente que l'on va rencontrer sans en être prévenu, il y a sur le côté de la machine un deuxième indicateur de niveau. Ce niveau placé au milieu des différentes intersections des plans d'eau qui résultent des différentes inclinaisons de la machine dans les deux sens, est réglé de façon à indiquer au mécanicien les limites qu'il ne doit pas dépasser pour franchir les pentes et rampes sans inconvénient.

MM. J.-J. et A. Meyer, dont le premier est l'inventeur d'une détente variable très-répandue, exposent les dessins d'une *locomotive tender articulée à douze roues couplées à quatre cylindres*. Il s'agit d'un projet, mais l'étude en est très-détaillée, et la solution qu'elle offre du problème de machines puissantes, pouvant circuler facilement dans les courbes de petit rayon, paraît très-satisfaisante. Le mémoire qui accompagne le dessin rappelle que, sur beaucoup de lignes, une adhérence de 40 tonnes est devenue insuffisante, que la nécessité de construire des chemins de fer à bon marché force à adopter chaque jour de plus fortes rampes et de plus

petits rayons ; que c'est à ces conditions-là seulement que beaucoup de lignes pourront être prolongées et d'autres réunies; qu'il faut que les locomotives aient dans certains cas particuliers une adhérence de 50, 60 et 80 tonnes, tout en conservant la flexibilité nécessaire pour circuler dans des courbes de faible rayon; que la décomposition des trains et l'emploi de machines de secours sont deux moyens dont on ne connaît que trop les inconvénients et la cherté.

La locomotive proposée par MM. Meyer se compose d'une chaudière unique portée sur deux trains moteurs à six roues couplées chacun, et mis en mouvement chacun par deux cylindres ; les caisses à eau sont placées à l'avant, la soute à combustible à l'arrière, la répartition des poids est telle que le centre de gravité passe par l'essieu milieu de chaque train. La chaudière repose sur l'avant-train par l'intermédiaire d'un unique pivot-support sphérique, et sur l'arrière, par deux pivots-supports demi-sphériques placés, latéralement au foyer, au-dessus de l'essieu du milieu. Cette disposition permet à l'avant-train de prendre, par rapport à la chaudière toutes les positions nécessitées par les courbes ou les irrégularités de la voie.

L'avant-train est relié à l'arrière-train par une bielle rigide dont le tourillon d'avant est le pivot d'articulation même de l'avant-train, et dont le tourillon d'arrière est au-dessus du premier essieu de l'arrière-train, de sorte que cet essieu est constamment sollicité pendant la marche en courbe à entrer dans la courbe.

Les supports demi-sphériques ou pivots articulés de l'arrière-train reposent sur deux patins à base plate qui peuvent glisser en avant et en arrière sur un tasseau plat armé de rebords latéraux.

Lorsque la machine entre dans une courbe, l'un des patins recule tandis que l'autre avance ; le jeu transversal des patins nécessaire à ce mouvement dans les rebords latéraux des tasseaux est très-faible.

Le tourillon de la barre d'attelage du convoi est placé au-dessus de l'essieu d'arrière de l'arrière-train. Le changement de marche a lieu au moyen du même levier et de la même barre pour les deux trains.

La sortie de la vapeur a lieu par des tuyaux articulés à rotule et en caoutchouc consolidé par du fil d'acier enroulé en spirale. L'alimentation se ferait au moyen d'un ou de deux injecteurs Giffard.

L'ensemble du mécanisme est extérieur. Le poids total servant à l'adhérence serait de 60 tonnes, soit 10 tonnes sur chaque essieu. L'écartement des essieux extrêmes de chaque train est de $2^{m},60$ pour des roues de $1^{m},20$. La flexibilité de la machine ainsi disposée est telle qu'elle passera facilement dans des courbes de 80 à 100 mètres de rayon.

Les auteurs du projet comptent sur un effort de traction de 10,000 kilos, soit $\frac{1}{6}$ du poids servant à l'adhérence susceptible de remorquer à la vitesse de 16 kilom. des trains de 2,300 tonnes sur niveau, de 340 tonnes

sur rampes de 25 millimètres, et de 155 tonnes sur rampes de 60 millimètres machine comprise.

MM. Meyer donnent à leur type de locomotives le nom d'*universel*, parce que la disposition de ces deux trucks indépendants, mus chacun par deux cylindres, permet aussi bien, suivant eux, d'augmenter le nombre des roues, que de construire sur ce type des machines express, des machines mixtes ou des machines à marchandises.

La note de ces messieurs contient le croquis d'une machine à grande vitesse à 4 cylindres et à 6 essieux, dont 2 sont montés sur grandes roues motrices, et 4 sur de petites roues porteuses;

Celui d'une machine mixte à 4 cylindres et à 6 essieux, dont 4 moteurs munis de grandes roues et 4 porteurs;

Une machine à marchandises à 4 cylindres et à 16 roues motrices par 2 groupes de 8; une machine à 6 cylindres et à 18 roues motrices par 3 groupes de 6; et enfin une machine à 8 cylindres et à 24 roues motrices, montée sur 4 trains.

EXPOSITION ANGLAISE.

L'examen des locomotives anglaises de l'Exposition de 1862 démontre que les conditions de l'exploitation et les exigences du service sont différentes en France et en Angleterre.

Tandis que l'exploitation française, poussée en avant par des exigences toujours croissantes, abandonne ses anciens types de machine devenus impuissants, ou les améliore, l'exploitation anglaise se contente d'un léger accroissement dans la puissance et la vitesse de ses machines. Le type à quatre essieux couplés, qui est déjà insuffisant en France, n'est pas même encore appliqué en Angleterre.

Cette différence caractéristique tient principalement à ce que les trains sont plus légers en Angleterre qu'en France. Ils sont plus légers, parce que, pour les express, par exemple, les arrêts n'ont lieu que tous les 70 ou 95 kilomètres, tandis qu'en France, ils ont lieu tous les 30 ou 40 kilomètres; parce que les départs sont plus nombreux, les lignes concurrentes plus nombreuses.

Pour les trains de marchandises, parce que le cabotage, la navigation fluviale et celle des canaux prennent une bien plus forte part du transport des matières, et parce qu'enfin le trafic est très-divisé entre les chemins de fer.

Si, à ces causes de légèreté des machines, en Angleterre, on ajoute celles qui découlent de profils moins accidentés qu'en France, d'un

excellent combustible qui brûle facilement dans des foyers étroits, on concevra facilement que l'Angleterre n'offre aucune nouvelle disposition de machine-locomotive. Ses anciens types lui suffisent avec un léger accroissement dans la puissance, c'est-à-dire dans la surface de chauffe et le poids servant à l'adhérence. C'est ainsi que le poids porté par l'essieu moteur des machines express atteint souvent 14 tonnes; 11 1/2 sur les machines à deux essieux couplés, et 10 1/2 à 11 sur les machines à trois essieux couplés. La pression de la vapeur est plus grande, les foyers plus spacieux, les roues motrices plus grandes, et l'approvisionnement d'eau et de combustible plus considérable.

Ces modifications permettent de remorquer à vitesse égale des trains un peu plus lourds que par le passé; mais elles ont surtout pour but d'augmenter la vitesse, qui est le point principal sur lequel se porte la concurrence des lignes anglaises. Mais si l'Angleterre ne présente aucune disposition d'ensemble nouvelle, son exposition est du plus haut intérêt, au point de vue des dispositions de détail et de la perfection de l'exécution. On sent que chacune des pièces est travaillée par un outil spécial, et que la main-d'œuvre se réduit de plus en plus au simple montage des machines. Le choix d'excellentes matières est très-apparent, ainsi que la tendance à la simplification dans la forme et à la réduction du nombre des pièces. Les roues motrices sont exclusivement en fer, les bandages en acier fondu, ainsi que les essieux et plusieurs pièces du mécanisme. Le travail de l'acier nécessite l'emploi d'outils très-résistants, et la transformation des machines-outils. Sous ce rapport, l'Allemagne entre dans la même voie que l'Angleterre : la maison Borsig, de Berlin, expose une machine dont les pièces d'acier n'ont été dressées et ajustées qu'après la trempe.

FOYERS.

La variété des foyers fumivores destinés à brûler la houille est beaucoup plus grande en Angleterre qu'en France. Les machines exposées offrent, sous ce rapport, plusieurs dispositions très-dignes d'être étudiées.

Nous citerons le foyer Mac-Connell, en usage depuis plusieurs années sur le *North-Western*, qui se compose d'une chambre de combustion s'étendant bien au delà de la grille, séparée en deux parties, ainsi que la grille, par un bouilleur vertical qui va presque jusqu'à la plaque tubulaire. Il y a donc deux portes, deux grilles, et pour ainsi dire deux foyers qu'on charge alternativement. Cette grande capacité de la chambre de combustion permet un mélange complet de l'air et des gaz combustibles, et produit, en conséquence, la fumivorité. Cette disposition diminue considérablement la surface de chauffe totale, mais elle augmente aussi considérablement la surface de chauffe directe.

Le foyer Clark, dans lequel le mélange de l'air et des gaz est produit,

au moyen de jets de vapeur, par les deux faces latérales du foyer. Nous citerons, en outre, le foyer Ramsbottom, appliqué sur la machine *Lady of the Lake*, du *North-Western*, dans lequel l'air est introduit par deux ouvertures carrées placées juste au-dessous des tubes, par conséquent sur la face postérieure du foyer et munies de clapets pour modérer l'admission. Au-dessus de ces ouvertures se trouve une voûte en briques réfractaires qui avance d'une quantité presque égale à la demi-profondeur du foyer et qui force l'air à passer sur la surface du combustible et à produire des remous en changeant brusquement de direction pour entrer dans les tubes.

Le foyer Cudworth, de la machine exposée par MM. Sharp, Stewart et Cie. Ce foyer se compose d'une longue grille de 2^m^,40 fortement inclinée, qu'on peut piquer par le dessous et nettoyer en marche, terminée par une petite grille horizontale à renversement. La boîte à feu contient un bouilleur longitudinal occupant un peu plus de la demi-longueur de la grille et qui la sépare pour ainsi dire en deux grilles distinctes desservies chacune par deux portes spéciales superposées.

Le foyer Connor, appliqué sur la machine express de MM. Neilson et Cie, de Glascow, offre un *rabat* en briques réfractaires disposé exactement comme celui de M. Ramsbottom; seulement l'introduction de l'air a lieu par la porte.

Le foyer Frodsham, employé sur le *Eastern-Counties*, consiste principalement dans un rabat placé derrière la porte d'introduction d'air, et dans l'emploi de jets de vapeur dans l'intérieur du foyer, de façon à mélanger les gaz combustibles avec l'air nécessaire à leur combustion.

Nous citerons encore le foyer employé par M. Jenkins sur le Lancashire et Yorkshire, et qui se compose d'un rabat fixé au-dessous des tubes avec prise d'air par trois rangées horizontales de trous sur la face postérieure, et une rangée sur la face antérieure du foyer.

Nous citerons enfin, comme le résumé le plus complet des tentatives faites dans cette voie, les nombreux foyers de M. Beattie, sur le *London and North-Western*. Les premiers foyers consistaient en deux grilles distinctes à la suite l'une de l'autre, desservies chacune par une porte, et dans l'intervalle desquelles se trouvait un bouilleur transversal en métal percé de trous. Sur la première grille, on chargeait de la houille; sur la seconde, du coke; derrière ces grilles, se trouvait une chambre de combustion, profonde, séparée en deux parties par un bouilleur vertical.

Aujourd'hui on ne charge plus qu'avec de la houille, le bouilleur est agrandi et reporté davantage au fond du foyer.

L'Exposition anglaise se composait de :

12 machines dont :
4 machines express;
4 — à marchandises;
4 — de petites dimensions pour houillères et travaux de terrassement.

Sur ces 12 machines, 4 seulement ont des cylindres intérieurs; et sur les 20 qui composaient l'exposition de toutes les nations, 6 seulement avaient des cylindres intérieurs.

Sur ces 20 locomotives, 18 avaient la largeur de voie ordinaire; 2 seulement avaient une largeur supérieure.

MACHINES EXPRESS.

Les 4 machines express exposées ont les roues motrices placées entre les roues de support. La surface de chauffe, quoique plus grande qu'autrefois, n'atteint pas encore 100 mètres carrés pour les machines dont la largeur de voie est 1m,50. Le diamètre des roues motrices est, en général, de 2m,10 à 2m,50. Les roues, de 2m,70, sont les plus grandes que l'on puisse trouver sur les machines express des lignes anglaises. Un poids de 12 à 14 tonnes est porté par les roues motrices. — C'est le dernier mot de ces machines sous ce rapport.

La Cie du *London and North-Western* expose 2 machines : l'une, construite aux ateliers de Wolverton, par M. Mac-Connell, l'autre, aux ateliers de Crewe, par M. Ramsbottom.

1° La machine de M. Mac-Connell est à cylindres intérieurs, dont la course est 0m,61. Les roues motrices ont 2m,30 de diamètre. La surface de chauffe n'atteint pas 80 mètres. Les bandages, les manivelles, et l'essieu coudé sont en acier de Krupp. Elle est munie d'un injecteur Giffard. Le tender est à 6 roues et porte des balanciers compensateurs entre les roues du milieu et celles d'arrière. L'ensemble pèse avec 8 tonnes d'eau et 2 tonnes de coke, 54 tonnes, soit 675 kilos par mètre carré de surface de chauffe. Le foyer disposé pour brûler de la houille est de la forme décrite précédemment, sous le titre de foyer Mac-Connell.

2° La machine de M. Ramsbottom est à cylindres extérieurs, de 0m,407 de diamètre, et de 0m,61 de course. Les roues motrices ont 2m,33 de diamètre. La base a une longueur de 4m,70. La surface de chauffe est de 91 mètres carrés, dont 7m,75 au foyer. Le poids servant à l'adhérence est de 11 1/2 tonnes. La machine est munie de deux injecteurs Giffard. Le tender à 6 roues porte 8 tonnes d'eau et 2 de combustible. L'ensemble pèse plein 53 1/2 tonnes, soit 575 kilos par mètre carré de surface de chauffe. Le foyer est disposé pour brûler de la houille et de la forme des foyers

Ramsbottom. Le soupapes de sûreté, les pistons sont d'un modèle nouveau dû à M. Ramsbottom.

Enfin, cette machine porte un appareil spécial inventé également par M. Ramsbottom, pour l'alimentation d'eau sans arrêt. Sur la voie se trouve une rigole en fonte de 400 mètres environ de longueur, de $0^m,40$ de largeur, et $0^m,13$ de profondeur, pleine d'eau. Le tender porte un large tuyau recourbé en avant à sa partie inférieure. Lorsque la machine arrive en vitesse, près de la rigole, on fait plonger le tuyau recourbé, et 5 à 6 mètres cubes d'eau sont introduits dans le tender en moins d'une minute. Toutefois l'eau ne commence à entrer dans le tender que lorsque la vitesse du train est de 36 kilomètres à l'heure. Cette rigole, établie sur le chemin de Chester à Holyhead, permet un service régulier et journalier de 136 kilomètres sans arrêt. Depuis l'époque où cet appareil a été installé, environ 7,000 mètres cubes d'eau ont été pris par les machines. La Cie du *London and Nord-Western railway*, se dispose à installer ces rigoles dans d'autres stations.

Comme détail intéressant, nous rappellerons que, le 7 janvier 1862, l'emploi de ce moyen a permis à une machine de franchir sans arrêt et en 2 heures 25 minutes les 210 kilomètres qui séparent Holyhead de Stafford.

3° Le *Caledonian railway* exposait une machine de M. Connor, construite chez M. Neilson et Cie. Cette machine est à cylindres extérieurs, de $0^m,61$ de course, et à double châssis extérieur et intérieur. Le diamètre des roues motrices est de $2^m,50$. La surface de chauffe est de 99 mètres carrés (extérieurement). La longueur des tubes est de $3^m,50$; leur nombre, 192; leur diamètre extérieur, 47 millimètres 1/2.

Le foyer est fumivore, et de la forme indiquée précédemment, sous le titre de foyer Connor.

L'essieu moteur est en acier fondu et fabriqué dans les ateliers du *Caledonian railway;* les bandages sont en acier fondu de Krupp. Le poids de la machine pleine est de 31 tonnes; en lui supposant un tender à 6 roues, le poids par mètre carré de surface de chauffe serait de 530 kilos. C'est la plus légère des express exposées par l'Angleterre. Le poids sur l'essieu moteur est de 14 tonnes 1/2.

La 4e machine express est exposée par Beyer, Peacock et Cie, et destinée au chemin de fer du Sud-Est du Portugal, dont la voie est de $1^m,68$.

Les cylindres extérieurs ont $0^m,41$ de diamètre, et $0^m,56$ de course. Le diamètre des roues motrices est de $2^m,14$. La base est de $4^m,67$. La surface de chauffe est de 122^{mq}, dont $9^m,50$ au foyer. La longueur des tubes est de $3^m,35$; leur nombre 215; le poids servant à l'adhérence 11 tonnes; le tender contiendra 10 tonnes d'eau et 1 1/2 de charbon.

MACHINES MIXTES ET A MARCHANDISES.

1° *Machine mixte à 4 roues couplées du South-Eastern-Connties railway*, dessinée par Robert Sinclair et construite dans les ateliers de Robert Stephenson, à Newcastle. Cette machine a parcouru 72,000 kilomètres sans autres réparations que celles de peinture et du tournage des roues motrices.

Elle a des cylindres extérieurs placés horizontalement, de 0m,61 de course. Le diamètre des roues motrices est de 1m,83. Les bandages sont en acier de Krupp, et une paire de bandages qui ont parcouru 110,000 kilomètres sans être tournés, est exposée avec la machine. L'usure de ces bandages est d'environ 6 millimètres. La machine est munie d'injecteurs Giffard. La surface de chauffe totale est de 94 1/2 mètres carrés, dont 88 pour les tubes (extérieurement). Le poids de la machine pleine est de 30 tonnes, dont 20 sur les 4 roues motrices ; le poids du tender plein est de 23 tonnes. Ces poids correspondent au chiffre de 560 kilogr. par mètre carré de surface de chauffe. La machine est munie du foyer Frodsham décrit précédemment.

2° *Machine à 4 roues couplées,* exposée par S. W. G. Armstrong, construite dans ses ateliers de Elswick Works, près Newcastle. Cette machine destinée à l'*East-Indian railway*, a une largeur de voie de 1m,68, et des cylindres extérieurs de 0m,56 de course. Cette machine a 9m,30 de surface de foyer, et seulement 95 mètres carrés de surface extérieure des tubes.

3° *Machine à 6 roues couplées à cylindres intérieurs* de 0m,61 de course, exposée par W. Fairbairn et Sons, de Manchester, construite sur les plans de M. Kirtley. Le diamètre des roues est de 1m,68; le châssis est double. L'essieu coudé repose sur 4 boîtes à graisse. Le nombre des tubes est de 180 ; leur diamètre 54 millimètres ; leur surface de chauffe de 106 mètres carrés. La porte du foyer est formée de 2 vantaux s'ouvrant horizontalement.

4° *Machine à 6 roues couplées, à cylindres extérieurs* de 0m,43 de diamètre, et de 0m,61 de course, construite par MM. Sharp, Stewart et Cie, de Manchester. Diamètre des roues 1m,68; la base est de 4m,73; poids de la machine pleine, 32 tonnes, dont 11 1/2 sur l'essieu moteur du milieu. Il y a un double châssis extérieur et intérieur; l'essieu coudé est porté par 4 boîtes à graisse. Le générateur est alimenté par deux Giffard. La surface de chauffe totale est de 108 mètres carrés, dont 11 au foyer. Le nombre des tubes est de 189.

Le foyer fumivore est celui que nous avons décrit précédemment sous le titre : Foyer Cudworth. Les bandages sont attachés aux roues, de façon à ne pouvoir pas s'en séparer en cas de rupture.

MACHINES DE PETITES DIMENSIONS POUR TRAVAUX DE TERRASSEMENTS ET POUR MINES.

Ces petites machines, au nombre de 4, sont surtout remarquables par la solidité et la simplicité de leur construction. Elles prouvent la tendance de spécialiser de plus en plus les machines aux besoins à desservir.

EXPOSITION BELGE.

La Société anonyme de Couillet expose une machine à marchandises à 6 roues couplées, à cylindres intérieurs.

Le diamètre des roues est de $1^m,46$; la surface de chauffe de 114 mètres carrés, dont $7^m,80$ au foyer; le poids de la machine pleine est de 33 1/2 tonnes; le poids maximum par paire de roues est de 11 tonnes. La course des pistons est de $0^m,60$; leur diamètre $0^m,445$; la base est de $4^m,00$.

La machine porte un foyer Belpaire, dont nous avons donné précédemment la description; l'essieu d'arrière est placé au-dessous de ce foyer.

EXPOSITION ALLEMANDE.

Cette exposition comprend 4 machines, dont 2 pour l'Autriche, 1 pour la Prusse, et 1 pour la Saxe royale.

Cette exposition est très-remarquable sous le rapport de la perfection, de l'exécution, de la nouveauté des dispositions, et du rôle que joue l'acier dans ces machines.

1° *Machine locomotive express* (Duplex), exposée par M. Haswell, directeur de la Société autrichienne de Vienne.

Voici les raisons par lesquelles M. Haswell explique les dispositions qu'il a adoptées pour cette machine.

« Les forces qui naissent de l'inertie des masses animées d'un mouvement alternatif ont pour résultat, comme on le sait, de produire un *mouvement saccadé longitudinal d'avant en arrière, et d'arrière en avant,* dont l'intensité croît avec la grandeur relative des masses à mouvement alternatif par rapport à la masse entière. Elles tendent aussi, à cause de l'action des pistons, tantôt concordante, tantôt opposée, et changeant alternative-

ment de direction, à faire tourner la machine horizontalement autour de son centre de gravité, de gauche à droite et de droite à gauche, c'est-à-dire à produire ce qu'on appelle le *mouvement de lacet*. Elles produisent enfin d'autres mouvements désordonnés, comme le *roulis* ou balancement de la machine autour de son axe longitudinal; l'*ondulation* de toute la masse qui porte sur les ressorts de suspension; le *galop*, ou les élans autour d'un axe transversal horizontal.

« Enfin l'inertie des manivelles et des pièces qui s'y attachent produit une force centrifuge dont la composante verticale tend à surcharger et à décharger alternativement les roues motrices.

« On peut empêcher le mouvement longitudinal saccadé et le mouvement de lacet au moyen de contre-poids exerçant une action égale et opposée à celles des masses en mouvement. Mais le poids lui-même de ces contre-poids exerce une action verticale intense dont le résultat est, soit de soumettre les bandages et les rails à des efforts supérieurs à ceux que nécessite leur conservation, soit de réduire l'adhérence et de produire la tendance au patinage et au déraillement. »

L'ingénieur s'est donc proposé de réaliser, sans le secours des contre-poids, l'équilibre horizontal et vertical des masses en mouvement. Dans ce but, les 2 cylindres ordinaires sont remplacés chacun par 2 cylindres superposés, d'une surface moitié moindre, dont les axes sont situés dans un plan incliné à l'horizon. Les tiges des pistons sont convergentes et l'intersection de l'angle qu'elles font est presque horizontal; leur mouvement est alternatif; elles se terminent par des glissières situées au-dessus du second essieu porteur.

A ces deux tiges s'attachent deux bielles agissant sur l'essieu moteur par une double manivelle, dont les deux tourillons sont aux extrémités d'un même diamètre. On se fera une idée très-nette du fonctionnement de ce mécanisme en supposant que la manivelle double représente la base d'un triangle dont les bielles sont les deux autres côtés, et dont les tiges des pistons sont les prolongements de ces côtés.

Les épreuves ont confirmé les prévisions de l'ingénieur. La machine ayant été suspendue et les roues motrices animées d'une vitesse correspondante à une vitesse de marche de 154 kilomètres, le déplacement horizontal n'a été que de $2^{mm},2$ et le déplacement vertical de 5 millim. Tandis qu'une machine exactement du même type, mais avec deux cylindres ordinaires et des contre-poids, a donné pour une vitesse de 80 kilomètres seulement, un déplacement horizontal de $6^{mm},60$ et de 42 millimètres verticalement.

La machine Duplex est alimentée par deux injecteurs Giffard; elle a ses roues motrices à l'arrière; leur diamètre est de $2^{m},065$; la charge sur les roues motrices est de 12,500 kilogr. La surface de chauffe totale est de 125 mètres carrés, dont 7,80 au foyer. On voit que les machines autrichiennes à grande vitesse se rapprochent d'avantage, sous le rapport

de la surface de chauffe, des machines françaises que des locomotives anglaises.

Le constructeur de cette machine pense qu'indépendamment de l'avantage qu'offre cette disposition de pouvoir atteindre, en toute sécurité, les plus grandes vitesses, il y a lieu d'espérer qu'en raison de la suppression des actions perturbatrices les plus graves, les conditions d'usure de la machine seront améliorées, et que la conservation de la voie fera plus que compenser l'excédant d'entretien du double mécanisme résultant de l'emploi de quatre cylindres.

2° *Machine à marchandises* (Steierdorf) à cinq essieux couplés, exposée par la même société.

Cette machine, destinée au chemin de fer d'Orawitza à Steierdorf (Bannat), qui présente sur 17 kilomètres des rampes de 20 millimètres, et des courbes de 114 mètres de rayon, offre une disposition d'accouplement de cinq essieux permettant le passage dans des courbes de 90 mètres de rayon.

L'étude de cette disposition, provoquée par M. Engerth, pour remplacer l'accouplement à engrenage, qu'il ne considérait lui-même que comme une solution temporaire et incomplète du problème, a pris pour point de départ un mode d'accouplement par l'intermédiaire d'un faux essieu proposé par M. Kirchweger, directeur du service des machines du Hanovre.

Après beaucoup d'essais et de tâtonnements, l'un des ingénieurs de la société autrichienne, M. Pius Fink proposa la combinaison qui a été définitivement appliquée à la machine Steierdorf. En voici la description sommaire : l'essieu d'avant du tender porte au-dessus de lui, au moyen de deux supports à tourillons sphériques, un faux essieu qui est maintenu à une distance sensiblement constante de l'essieu d'arrière de la machine (essieu moteur) au moyen de deux tiges de guidage assemblées aux coussinets du faux essieu et de l'essieu moteur, et portant deux articulations sphériques.

L'essieu moteur et le faux essieu portent chacun une manivelle dont les boutons sont réunis par une bielle inclinée à tourillons sphériques. Cette bielle laisse en dedans la bielle d'accouplement des roues du train de la machine, ainsi que la bielle motrice.

Enfin, les manivelles du faux essieu et du premier essieu du tender, portant des tourillons sphériques, sont réunies par une bielle pendante qui est toujours verticale en voie droite.

Quand la machine passe dans une courbe, le premier essieu du tender et le faux essieu changent de position relative. L'essieu du tender prend une direction normale à la courbe, tandis que le faux essieu conserve une direction parallèle à l'essieu moteur. Dans ce changement de position, les supports du faux essieu s'inclinent ; celui-ci descend par conséquent d'une petite quantité tout en restant horizontal, et tout en restant à la

même distance de l'essieu moteur ; le parallélogramme formé par les manivelles du faux essieu et de l'essieu moteur, par la grande bielle inclinée et par les tiges de guidage, s'aplatit ou s'ouvre suivant la direction de la courbe ; le second parallélogramme, formé par le support, les manivelles du faux essieu, du premier essieu du tender et par la bielle pendante, se déforme également, et la bielle pendante cesse d'être verticale.

Ce système d'accouplement permet de transmettre à l'essieu du tender les forces agissant sur l'essieu moteur ; il n'a aucune tendance à déplacer les essieux et il ne modifie en rien leur charge.

La machine est attelée au tender par une cheville ouvrière. Elle est munie d'un frein à vapeur dont les quatre sabots agissent sur le sommet des roues du deuxième et du troisième essieu de la machine.

Les données principales de la construction sont :

Poids total servant à l'adhérence, y compris les approvisionnements de service, 46^t,750 ; surface de chauffe, 122 mètres carrés ; diamètre des roues, 1 mètre ; surface de la grille, 1^m,40 ; le poids porté par chaque essieu ne dépasse pas 9,500 kil., à cause de la faible dimension des rails.

Les essais ont montré que cette machine est susceptible de franchir des rampes allant jusqu'à 25 millimètres, et de passer dans des courbes de 100 mètres de rayon [1].

3° *Machine à marchandises* à quatre roues couplées de Borsig à Berlin.

Ce type est exclusivement adopté sur la ligne de Cologne à Minden pour le service des trains mixtes et des trains de marchandises. On le trouve, en outre, sur un grand nombre de lignes allemandes. Les particularités qu'offre cette machine sont : une détente variable à double tiroir, applicable exclusivement aux machines à marchandises, une suspension à compensation destinée à maintenir une répartition constante du poids sur les trois essieux ; l'ensemble de la machine repose sur trois points ; les bielles d'accouplement sont d'une grande légèreté apparente, elles sont en acier fondu et n'ont été dressées qu'après la trempe ; les tiges de piston, les bielles, les manivelles sont en acier fondu ; les boîtes à graisse en fer forgé.

La surface de chauffe est de 93^m,50, dont 6 au foyer ; le nombre des tubes est de 156 ; leur longueur, 4^m,20 ; leur diamètre extérieur 49 millimètres. Les cylindres ont 0^m,43 de diamètre et 0^m,56 de course. Le poids porté par les deux essieux moteurs est de 24 tonnes ; le poids total de la machine et du tender en marche est de 50 tonnes, soit 535 kil. par mètre

1. Ce mode d'accouplement d'essieux non parallèles nous paraît avoir l'inconvénient de gêner le foyer, organe le plus important d'une machine ; d'absorber, par sa complication, une partie notable de la force motrice, et de présenter des pièces délicates telles que les tourillons sphériques. J. V.

carré de surface de chauffe. Le tender, avec ses formes massives qui datent de quinze ans, fait contraste avec la machine si légère d'apparence et si bien étudiée.

4° *Machine de montagne* à quatre roues couplées, exposée par Hartmann à Chemnitz.

Le caractère particulier de cette machine est un truck ou bogie d'une disposition nouvelle placée à l'avant de la machine, et qui lui permet de passer dans des courbes de 85 mètres de rayon. Le châssis de ce truck, qui n'est supporté que par un seul essieu, est triangulaire; il est attaché à une espèce de cheville ouvrière qui lui permet de se mouvoir transversalement dans une certaine limite; ce truck supporte le corps de la chaudière par trois points qui permettent également un mouvement transversal. Cette locomotive a des cylindres extérieurs de $0^m,38$ de diamètre et $0^m,56$ de course; le diamètre des roues motrices est de $1^m,37$. Le poids porté par un essieu est de 10 tonnes 1/2 au maximum. La surface de chauffe est de $78^{m^2},40$, dont 6,40 au foyer. Le nombre des tubes est de 148; le poids de la machine pleine est de 28 tonnes.

CHAPITRE IV.

INDICATION DES MESURES A L'AIDE DESQUELLES LE GOUVERNEMENT POURRAIT SECONDER LES EFFORTS DE L'ACTIVITÉ PRIVÉE ET SUPPRIMER LES ENTRAVES QUI PARAISSENT Y FAIRE OBSTACLE.

M. E. Flachat dit que l'excellence de la fabrication des machines locomotives est due principalement à l'emploi de machines-outils spéciales. Sous ce rapport, l'outillage des ateliers anglais et allemands, qui se renouvelle chaque jour en se spécialisant, est aujourd'hui très-supérieur à celui des ateliers français. Pour faire cesser cette cause d'infériorité dans la fabrication des machines, M. Flachat demande l'importation, aux droits du fer, des outils servant à travailler le fer pour la fabrication des machines.

D'autre part, l'acier fondu, mais un acier fondu d'une qualité analogue à celle de l'acier de cémentation fondu ou de l'acier Krupp, est destiné à rendre de grands services à la construction des machines locomotives. Il importe donc, pour stimuler la fabrication de cet acier et en accroître la consommation, d'ouvrir le marché aux qualités d'acier que jusqu'à ce jour l'Allemagne et l'Angleterre ont seules pu nous fournir.

M. Flachat termine par des considérations très-élevées sur les résultats fâcheux de la législation actuelle des brevets et sur l'insuffisance de l'en-

seignement professionnel parmi les ouvriers. Nous pensons devoir les reproduire textuellement :

« Un autre point sur lequel se porte l'attention en France, parce qu'il y constitue un obstacle de plus en plus sérieux aux progrès mécaniques, c'est l'influence de la législation des brevets. Depuis plusieurs années, un flot immense de brevets s'élève comme un rempart presque inaccessible devant les moindres comme devant les plus larges modifications du matériel des chemins de fer. Dans le vaste champ des dispositions mécaniques plus ou moins ingénieuses, appliquées puis délaissées, puis reprises en partie et appliquées de nouveau avec succès, l'ignorance, la spéculation ou l'intrigue ont tout ramassé et se sont approprié à la fois ce qui se fait, ce qui ne se fait plus, et ce qui a quelque chance d'être de nouveau appliqué.

« A mesure que la science découvre un principe nouveau, une loi, un corps ou de nouvelles propriétés d'un corps, une nuée de soi-disant inventeurs en traduisent immédiatement les applications à toutes les industries et s'emparent de l'usage le plus simple qui en pouvait être fait.

« Cette lèpre des faux inventeurs est facile à reconnaître aux marques d'ignorance que constate la rédaction même du plus grand nombre des brevets. Elle monte et tend à couvrir le corps tout entier de l'industrie; elle constitue elle-même une industrie, une profession qui veille aux portes des ateliers, des bureaux de dessin, des laboratoires; qui s'y introduit indiscrètement, déloyalement, pour épier les progrès des idées ou de l'étude, les devancer et s'en attribuer la propriété. Aujourd'hui, le secret d'une amélioration doit être bien gardé si son inventeur veut avoir le temps d'en faire l'essai. Il y a plus : l'employé le plus honnête, l'agent que sa situation attache aux travaux de l'industrie, devient incertain de savoir s'il gardera et exploitera lui-même, ou s'il laissera à celui pour lequel il travaille les idées que la situation qui lui a été faite fait germer et éclore en lui.

« A part la moralité négative d'une institution qui assure une prime aux plagiaires et aux employés indiscrets ou infidèles, si l'on considère le développement inouï de l'envahissement par les brevets du domaine de l'industrie et de la science, on reconnaît qu'il y a une impossibilité réelle à ce qu'un état de choses si contraire à tout progrès se maintienne.

« Nous présenterons enfin une dernière considération dont l'Exposition montre l'opportunité. Les ouvriers anglais et allemands, employés dans la construction des machines, possèdent, plus que les ouvriers français, les notions scientifiques spéciales à leur industrie. Pourquoi? Ils n'ont pas l'intelligence plus apte à l'étude; ils n'ont pas plus d'intérêt à s'instruire, non; mais il leur est plus facile d'acquérir ces notions. L'enseignement entre, à cet égard, dans le courant des habitudes de l'ouvrier anglais. Des institutions gratuites et spéciales pour la jeunesse et pour l'adulte

offrent à la fois l'occasion de l'activité intellectuelle et du repos physique. L'adulte, qui y est conduit par le sentiment de son intérêt et de son devoir, y entraîne l'apprenti, et l'habitude les y ramène chaque jour.

« En France, de généreux et habiles efforts se font dans cette voie : trois écoles d'arts et métiers forment des hommes auxquels la carrière est ouverte, et dont le plus grand nombre atteint de belles positions dans les rangs du travail ; puis viennent quelques centres d'enseignement gratuit. Mais ces rares institutions, au lieu d'être voisines du domicile de l'ouvrier, l'appellent à de grandes distances, exigent un changement de tenue et sont inconciliables aussi avec le besoin de repos qui suit la fatigue de la journée. Il faut cependant un enseignement scientifique à l'ouvrier mécanicien. Sans cet enseignement professionnel, la France restera inférieure aux autres nations dans les arts mécaniques. L'adresse et l'intelligence ne suffisent plus ici, il leur faut un guide ; les sciences exactes peuvent seules le donner. Où trouver une occasion plus belle et plus opportune de provoquer l'intervention du gouvernement ? »

ÉTUDE

SUR

L'ENQUÊTE RELATIVE A L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE

FAITE

A L'OCCASION DU TRAITÉ DE COMMERCE AVEC L'ANGLETERRE,

PAR **M. A. DUROY DE BRUIGNAC.**

J'ai pensé qu'il serait utile de réunir quelques-unes des idées principales et pratiques qui se rencontrent dans l'enquête relative à l'industrie métallurgique, faite à l'occasion du traité de commerce avec l'Angleterre, en 1860. Ce travail pourra aider la mémoire de ceux qui ont lu l'enquête ; il contiendra quelques détails intéressants pour ceux qui ne l'ont pas lue.

Faire de l'enquête un résumé proprement dit, c'est-à-dire complet en substance, eût été un immense travail ; je n'y ai pas songé. Réunir et classer tout ce que l'enquête contient d'utile ne fournirait pas un volume beaucoup moindre que l'énorme publication qui existe.

D'ailleurs l'enquête, dans les larges limites que sa dénomination comporte, aborde des industries très-diverses, quoiqu'elles aient des points de contact. Non-seulement elle recherche les conditions d'existence de la production métallurgique proprement dite, mais elle examine aussi l'état de toutes les industries qui s'y rattachent par cela seul qu'elles font usage des métaux.

Dans un résumé sérieux, il faudrait faire à chacun de ces nombreux objets le bilan plus ou moins détaillé de sa situation actuelle, en présence du traité : on comprend l'étendue de cette œuvre.

Je me suis donc contenté de jeter un coup d'œil sur la situation de l'industrie métallurgique proprement dite en France, au point de vue du traité de commerce avec l'Angleterre ; et j'ai cherché, dans l'enquête, réponse aux questions suivantes :

1° *L'industrie métallurgique en France peut-elle, actuellement, lutter à armes égales, sur son propre marché, avec l'industrie anglaise?*

2° *Si la lutte ne peut être soutenue à armes égales, quelles sont les causes qui la rendent actuellement impossible?*

3° *Quels sont les moyens proposés par l'enquête, pour rendre possible la lutte entre les deux industries, et y a-t-il des moyens qui permettraient la lutte à armes égales?*

4° *Conclusions. — Premiers résultats du traité de commerce.*

Je le répète : j'ai pris les données que l'enquête présente sans les modifier d'après mes renseignements personnels. D'abord, je ne prétends pas avoir une opinion faite, à moi, sur tous les points que l'enquête examine ; et par suite, ne pouvant la contrôler toujours, je l'ai toujours laissé parler, alors même que ses appréciations pouvaient offrir exagération ou erreur.

Je n'ai même pas la prétention de découvrir dans l'enquête des faits nouveaux ou inconnus ; la plupart des opinions que je rapporte ne font que répéter ce que beaucoup savent et disent souvent; mais j'ai entrepris de grouper au jour les résultats principaux de l'enquête : imprévus ou connus, tels qu'ils sont je les expose. Et j'espère que, même la constatation de faits connus, émanant du concert des principaux hommes pratiques, n'est pas sans utilité et sans intérêt.

I.

L'industrie métallurgique en France peut-elle, actuellement, lutter à armes égales, sur son propre marché, avec l'industrie anglaise?

Comme question de fait, la réponse est simple et connue : « Non. » Mais il est utile de l'appuyer par la citation de quelques prix qui nous présenteront des documents utiles dans la suite de cette étude.

Chiffres relatifs à la valeur de l'acier en France et en Angleterre. — M. Pétin (I, 172)[1] présente le tableau comparatif suivant de la valeur des aciers français et anglais.

1. Le chiffre romain indique le tome de l'enquête ; le chiffre arabe la page.

Numéros des Catégories.	ANGLETERRE.			FRANCE.			DIFFÉRENCE en plus.
	Pour aciers au prix de :	On emploie des fers de :	Moyenne.	Pour aciers au prix de :	On emploie des fers de :	Moyenne.	
	les 100k	les 1000k		les 100k	les 1000k		
	1re *Série.*						
1	160f et au-dessus.	600f à 800f	700f } 600f	180f et au-dessus.	695f à 895f	795f } 697f 5	95f } 97f 50
2	110 à 160	400 à 600	500	130 à 180	500 à 700	600	100
	2e *Série.*						
3	70 à 110	250 à 400	325f } 270f	90 à 130	380 à 500	440f } 400f	115f } 130f
4	70 et au-dessous.	180 à 250	215	65 à 90	340 à 380	360	145

On voit que, dans les mêmes catégories, les aciers français valent 20 fr. de plus, les 100 kil., que les aciers anglais ; encore les fers dont les fabricants français font usage sont-ils beaucoup plus chers que les fers employés par les fabricants anglais, de 95 à 145 fr. la tonne.

Comparaison des aciers français et anglais. — Mais M. Pétin remarque (I, 466) que les fers français, et notamment ceux d'Algérie, satisfont à tous les besoins de l'industrie de l'acier, tandis que les fers anglais ne le font pas. Toutefois, si les Anglais ne font presque pas de fers pour aciers, parce que leurs minerais et d'autres circonstances s'y opposent, ils font de fort bons aciers avec des fers de Suède. D'ailleurs les tôles d'acier français sont meilleures que les produits similaires anglais (I, 470).

Il ne faut pas oublier, d'après la remarque de M. Charrière et de M. Jackson (I, 475, 476), que les fers suédois *seuls* peuvent atteindre à faire de l'acier de première qualité très-fine; mais cette qualité est d'un emploi assez rare pour que l'on puisse admettre l'énoncé général de M. Pétin.

Il est donc admis (M. Charrière, I, 477) que l'aciérie anglaise ne vit qu'au moyen des fers étrangers. Mais si l'aciérie française est dans une situation plus solide, elle est aussi moins économique : la matière que l'aciérie anglaise va puiser en Suède lui coûte moins que la nôtre, à cause de l'immense différence du prix du charbon de bois ; en Suède il coûte 2 fr. les 100 kil., et en France 8 fr. D'où il suit que les fers français coûtent 18 fr. de plus par 100 kil. que les fers suédois, car il faut 300 kil. de charbon pour 100 kil. de fer[1].

1. On verra plus loin, à l'article combustible, un compte de différence moindre que celui de M. Pétin.

M. Pétin expose encore (I, 465) que depuis dix ans les aciéries françaises se sont plus développées que les aciéries anglaises ; et qu'elles ont le mérite des innovations heureuses qui se sont produites dans cette industrie. Cependant l'aciérie anglaise s'est développée remarquablement depuis que nos voisins reçoivent les fers de Suède en franchise.

Droit protecteur des aciers français. — D'après M. Jackson (I, 415), le prix des divers aciers anglais est, en moyenne, 640 fr. la tonne; un droit de 10 p. 100 serait donc 64 fr., et un droit de 30 p. 100 serait 192 fr. Lorsque les aciers ordinaires anglais étaient taxés 60 fr., les Français en achetaient un peu... Mais un droit de 192 fr. la tonne fermerait le marché français aux qualités inférieures d'aciers anglais (416), parce que leur main-d'œuvre est la même, et leur matière première diffère seule de la nôtre. Le droit actuel, en y joignant le double décime, est de 360 fr. la tonne pour l'acier en barres, et 600 fr. la tonne pour les tôles. Avec de tels droits, la lutte n'est pas possible pour les Anglais; aussi ne fournissent-ils à la France qu'une espèce d'acier qu'on ne peut absolument pas produire avec les fers français.

M. Pétin (I, 459) croit également qu'il ne serait pas nécessaire, pour maintenir vivante l'aciérie française, d'atteindre le droit de protection maximum de 30 p. 100, prévu par le traité; mais il faut un droit, car la France se trouve dans des conditions d'infériorité au point de vue des prix de la matière première, du transport et du combustible.

Fers.

Maintenant je vais chercher le prix des fers en France et en Angleterre.

D'après M. Stroll (I, 181), le prix des fers au bois dans le groupe des départements qu'il représente (Doubs, Haute-Saône, Jura, Vosges, Haut-Rhin et partie de la Côte-d'Or) est de 424 fr. la tonne à l'usine, et, en moyenne, dans les grands centres de consommation, 454 fr.

Voici le détail de ce prix :

Fonte, 1,350 kil. à 200 fr.	270f »
Charbon, 6mc,50, à 16 fr	104 »
Main-d'œuvre	20 »
Frais généraux	30 »
	424 »
Moyenne de transport pour les grands centres	30 »
	454 »

ainsi le prix de 18 fr. les 330 kil. fait 5f.45 les 100 kil.; ou 6 fr. pour le m. c. à 20 fr. En France je compte 9m,6 ou 175 fr. de charbon par t. de fer; cela fait 3168 kil. A 0f,02 le kil., ce serait 63f,36 la tonne. Donc la différence serait 112f la t., ou 11f.20 les 100 kil. quant au combustible.

M. Pétin (I, 460-462), que j'ai cité tout à l'heure, emploie, pour faire d'excellents aciers, des fers de 500 à 700 fr. la tonne, qu'il fabrique en Corse. D'ailleurs, s'il faut abandonner le point de vue de l'acier, il exprime que les fers suédois varient dans les limites extrêmes de 250 à 900 fr. la tonne. M. le général Guiod pense que, pour citer une moyenne sérieuse, il faut prendre 450 à 500 fr.

M. Charrière (d'Allevard) (I, 476) a présenté une note où je puise les renseignements suivants : Les fers des Pyrénées, comparables aux fers de Suède de troisième rang, et qui vaudraient les deuxièmes marques sans leur inégalité et leur impureté, valent de 400 à 420 fr. Les fers du Berry, du Périgord, de la Franche-Comté, moins bons pour l'acier, mais mieux faits que les fers de l'Ariége, valent 450 à 500 fr.

Les fers et aciers naturels du Dauphiné et de la Savoie, faits au bois, valent mieux que les fers des Pyrénées, et coûtent 550 à 600 fr.

D'après M. Peltereau de Villeneuve (I, 141), dans la Haute-Marne, le prix de revient d'une tonne de fer est :

Ouvriers et frais généraux.	63fr.»
1,300 kil. de houille, à 32 fr. la tonne.	41 60
1,300 kil. fonte, à 145 fr. et 3 fr. de transport, 148 fr. . . .	192 40
	297 »

Dans cette fabrication le charbon de bois coûte 4 fr. 50 le stère, et la houille est transportée par le chemin de fer de l'Est à 0 fr. 05 c. Une bonne navigation sur la Marne, un canal nouveau reliant celui de la Marne au Rhin, pourrait amener ce transport à 0 fr. 25.

M. Joly (I, 568), fabricant à Paris, emploie des fers français qui lui coûtent, rendus, 250 à 270 fr., et des fers anglais coûtant 180 fr. aux lieux de production. Il considère 330 fr. comme la moyenne du fer français [1].

M. Bricard (I, 586), fabricant à Paris, compte, rendus à Abbeville : les tôles des Ardennes 430 fr., les tôles du Berry 660 fr., les feuillards 360 fr., les fers des fonderies au bois 510 fr., fers ronds à grains 520 fr.

M. Gaudillot, fabricant de tubes en fer à la Briche Saint-Denis (I, 598), paye les fers en France de 300 à 450 fr.

M. Marilhat (I, 620) (coutellerie de Thiers, Puy-de-Dôme), évalue, rendus à Thiers : fer en verges du Berry, 520 fr.; barres, 470 fr.; tôle de Saint-Étienne, 430 à 450 fr.; fers en fil de Comté, 680 fr.

M. Vanéchout (II, 6) rapporte que les chaînes de la marine anglaise sont faites avec des fers de 280 à 320 fr. M. le général Guiod les compare au fer français de 400 fr.

M. Baur (II, 87), fabricant de quincaillerie dans le Bas-Rhin, ne peut

1. De 240 et 250 à $250 + 9 \times 20 = 430$ fr..... je dirais 335 ou 340 fr.

employer que des fers au bois, qui lui coûtent : en barres, 500 à 560 fr.; en tôles, 680 fr.

M. Léon Talabot (II, 638), citant le travail des usines de Denain et d'Anzin, affirme qu'en 1859 elles ont produit 22,960,000 kil. de fer fabriqué de toutes pièces, dont la dépense en charbon et en transport a été de 3,418,000 fr.; d'où il résulte un prix, par tonne, de 150 fr. 60 c., selon lui, et 148 fr. 86 c. selon moi. Mais peu importe cette petite différence de calcul. M. Talabot arrive toujours à ce qu'il veut prouver, c'est-à-dire que, pour les fers dont il parle, la dépense en transport et en charbon est au moins égale au prix total des fers du pays de Galles, qui, lors de l'enquête, valaient 125 fr. D'ailleurs, M. Talabot insiste sur ce que ces résultats ne dépeignent aucunement des conditions d'une infériorité exceptionnelle, car les forges de la Loire offrent les prix suivants : Sur une production de 91,500 tonnes,

Transport de matières premières.	4,805,000fr.
Transport des produits fabriqués.	2,245,000
	7.050,000
En achat de charbon.	6,588,000
	13.638,000

Ce qui donne un prix de 149 fr. 049 par tonne, pour le transport et le combustible.

Et maintenant, quels sont les prix des fers anglais ?

M. Combes (I, 15), un des membres du Conseil, cite les prix courants des fers en Angleterre, en novembre 1859 : la première classe 210 fr.; les marques ordinaires du pays de Galles 170 fr., et les bestbest d'Écosse 270 fr. Le transport, en France, vaut en moyenne 20 fr.; cela fait 230 fr., dont le 30 p. 100 est 69 fr., et 70 fr. en nombre rond [1].

Nous avons vu, d'après le *Mining-Journal*, cité par M. L. Talabot (II, 638), que les fers du pays de Galles valaient, en moyenne, je suppose, 125 fr. au moment de l'enquête. Du reste, M. L. Talabot prenant, d'après le *Mining-Journal* (I, 6), le prix des fers en Angleterre dans les trente dernières années, obtient un chiffre de 188 fr. 75.

M. Saint-Vigor, gérant des usines de Montataire (I, 71), dit que les fers ordinaires anglais valent 6 l. à 7 l. 10 sh. (151 fr. 25 à 189 fr. 05).

M. Luuyt (I, 76), maître de forges à Vierzon-Village, exprime que les fers anglais valent de 180 à 400 fr., ce qui fait une moyenne de 290 fr.

M. Mirio (I, 93), négociant en fers à Paris, présente une note qui établit les prix suivants :

1. Selon moi, la moyenne serait 220 fr., etc.

Fers de Galles à Cardiff et Newport :

En barres ordinaires.	$5^{l}15^{sh}$ à 6^{l} ($144^{f}95$ à $151^{f}25$).

Fers d'Écosse à Glascow :

En barres ordinaires.	7^{l} à $7^{l}10^{sh}$ ($176^{f}45$ à $189^{f}05$).

Fers du Staffordshire à Liverpool :

En barres ordinaires.	7^{l} à $8^{l}10^{sh}$ ($176^{f}45$ à $214^{f}25$).
Best.	$8^{l}10^{sh}$ à 9^{l} ($214^{f}25$ à $226^{f}85$).

(Je calcule une moyenne de 186 fr. 70 c.).

M. Baudry (I, 104) indique un prix moyen de 200 fr.

M. Rozet (Haute-Marne) (I, 147) cite que les prix des fers du Staffordshire sont fréquemment de. . . . . 240 fr.

Le transport aux côtes de France les plus voisines	17 »
Commission et assurance.	6 »
	233 »

Dont les 30 p. 100 sont 69 fr. 90.

M. Stroll (Doubs) (I, 176) dit que les bestbest anglais, majorés du droit d'entrée maximum prévu par le traité, seront encore 20 à 25 p. 100 moins chers que les fers au bois dont ils peuvent remplir presque toutes les exigences. (D'après cette allégation, je calcule un prix de 244 fr. 60 à 260 fr. 70.)

Plus loin M. Stroll établit le compte suivant :

Prix d'achat des bestbest en Angleterre.	250 fr.
Commission, transport, etc., jusqu'aux ports français. . . .	28 50
Entrée.	70 »
Port jusqu'à Paris.	12 50
	361 »

Ce qui distance les fers au bois de 93 fr. à Paris, et 105 fr. 50 dans les ports.

M. Lechatelier (I, 194), ingénieur en chef des mines, donne les prix suivants des fers en barres au-dessus de $0^{m},005$:

Écosse et Staffordshire	$187^{f}50$
Newcastle.	168 75
Pays de Galles.	150 »
	506, 25

(Je calcule une moyenne de 168 fr. 75.)

M. de Diétrich (I, 407) (Bas-Rhin) cite le prix des besbest à 230 fr.

M. Jackson (Sheffield) (I, 418) fait de l'acier avec des fers des environs de 8 à 10 l. (201 fr. 65 à 252 fr. 10).

M. Lan (II, 704), ingénieur des mines, dit que le fer d'Écosse vaut de 7 l. 10 sh. à 7 l. 15 (189 fr. 05 à 195 fr. 35).

. . . .

Il est pénible d'avoir à chercher une moyenne au milieu de témoignages aussi contradictoires. Sans doute, bien des chiffres s'appliquent à des catégories diverses; des circonstances de transport produisent des différences plus apparentes que réelles... Mais combien de chiffres très-différents sont donnés pour un même objet et dans des circonstances semblables!

Quoi qu'il en soit, et après un examen attentif, je crois devoir arriver aux conclusions suivantes :

Prix moyen des fers en France.	358f »
— en Angleterre.	210 »
Différence.	148 »

M. Cheilus (II, 374) émet un avis très-voisin de ce résultat, en accusant 150 fr. comme la différence moyenne de la France à l'Angleterre, pour les pièces de forge.

FONTE.

M. Peltereau de Villeneuve (I, 130) établit, comme il suit, le prix de revient d'une tonne de fonte dans le groupe de la Champagne :

1° 1mc,55 à 1mc,65 de minerais lavés.	25 fr.
2° Frais généraux, main-d'œuvre, etc.	27 »
3° Toutes les manipulations de 5mc,50, de charbon provenant de 14 stères de bois.	30 »
Frais à peu près invariables	82 »
4° Prix du bois surtout variable (14 stères à 4 fr. 50 en 1859, et moyenne de 10 ans)	63 »
	145 »

Encore d'après M. Peltereau de Villeneuve, l'écart de prix entre la fonte au bois et au coke est de 15 à 20 fr. et peut diminuer (135).

M. Barbezat (I, 255) estime le prix d'une tonne de fonte au bois en Champagne, à 150 fr.; à Paris elle revient à 170 fr.

M. Baudry (Meuse et Seine-et-Oise) fait de la fonte au bois qui lui coûte 147 fr.; il est à 3 kilomètres du minerai.

D'après M. Flachat (II, 681), dans les usines d'Ornain et de la Saulx, la tonne de fonte coûte environ :

Minerai, 8, 12 ou 15 fr. (non compris le droit de propriété), soit	15 fr.
5 ou 6 mètres cubes de charbon de bois à 15 fr. ou 17 fr., soit.	88 »
Façon, 6 à 7 fr., soit	7 »
Frais généraux et intérêts du capital, 20 à 24 fr., soit	24 »
	134 »

Le droit de propriété ferait-il les 10 fr. de différence entre le prix du minerai indiqué par M. Flachat et par M. Peltereau de Villeneuve? Je ne sais; toujours est-il que tous les autres éléments du prix total diffèrent peu.

D'ailleurs, il ne faut pas être étonné outre mesure des différences d'appréciation que présente l'enquête sur le prix de revient d'un même objet dans la même région : « Ce prix dépend des usines, » comme l'observe M. Flachat (681). Serait-ce, comme le pense M. E. Pereire (I, 209), que les maîtres de forges ne se rendent pas bien compte, tous, de leurs prix de revient?

M. Voruz, propriétaire de fonderies à 50 kilomètres de Nantes, estime le prix de la fonte qu'il fabrique comme il suit (I, 368) (juillet, août et septembre 1859) :

Coke anglais, 489,044 kil., à 50 fr.	23,452f 20
Coke-Languin, 636,718 kil., à 42 fr.	25,742 57
	49,194 77
Castine, 534,745 kil., à 6 fr.	5,208 47
Minerai français, 1,296,148 kil., à 4 fr.	5,184 59
— d'Espagne, 254,843 kil., à 30 fr.	7.645 29
	67,233 12
Main-d'œuvre	4,967 20
Frais généraux constants	2,086 30
— d'entretien journalier	920 »
Grattage et pesage à l'usine, 713,775 kil., à 0 fr. 45 c.	321 »
Loyer, 9 fr. 60 par jour	883 20
Assurances, 0 fr. 50 par jour	46 »
Charbons sous les chaudières et les fours à réchauffer.	3,647 52
Intérêts (sur 180,000 fr.) 24 fr. 92 par jour.	2,208 »
Dépenses du creuset, 2 fr. 58 sur 713,775 kil.	1,841 54
	84,153 88

Fonte produite en tout, 713,775 kil., ce qui fait 117 fr. 90 la tonne. Les

frais de mise en feu équivalent à 1 fr. 92 la tonne, ce qui fait 119 fr. 82. A Nantes, cette fonte vaut 126 fr. 32.

D'après la remarque de M. Peltereau de Villeneuve, 20 fr. ajoutés à ce prix rentrent assez dans le chiffre qu'il nous a indiqué tout à l'heure.

Enfin M. Pinard, à Marquise (Pas-de-Calais) (I, 301), établit ainsi ce prix de revient :

Minerai	30 fr.
Frais généraux	20 »
Ouvriers et soufflerie	10 »
Charbon	60 »
	120 »

C'en est assez sur le prix de la fonte en France. J'examine ce prix en Angleterre.

M. L. Talabot (I, 6) calcule, d'après le *Mining-Journal*, que le prix de la fonte en Angleterre a été, dans les 30 dernières années, de 114 fr. 16.

M. Combes (I, 15) expose que l'écart des prix des fontes de moulage anglaises est entre 62 fr. 50 et 68 fr. 75, dont la moyenne est de 65 fr. 07. Il écarte la fonte de Beaufort, dont la qualité exceptionnelle ne représente pas la moyenne des fontes importées d'Angleterre. Ces fontes ne sont pas moins chères que les fontes d'affinage.

M. Lan, ingénieur ordinaire des mines (II, 703), nous apprend qu'une usine d'Écosse fait des fontes de qualités diverses, au prix moyen de 47 à 48^{sh} la tonne de 2,240^{l} (59 fr. 24 ou 60 fr. 50 les 1,015 kil., 616 ou 58 fr. 33 à 59 fr. 57 la tonne). Cette usine est une des mieux placées : ses numéros mélangés valent aujourd'hui 51 à 52^{sh} (64 fr. 25 à 65 fr. 50 [1]), ce qui fait 2 à 3^{sh} (2 fr. 50 à 3 fr. 75) entre le revient et la vente. Le revient indiqué est un minimum très-rapproché du prix de vente. Il y a un certain nombre d'usines produisant des fontes inférieures qui leur coûtent plus cher ; elles perdent, et ne se soutiennent que par spéculation.

M. Gruner, ingénieur en chef des mines, chargé par le gouvernement, comme M. Lan, de recueillir des renseignements approfondis sur l'industrie métallurgique anglaise, donne les détails suivants sur les fontes du pays de Galles (II, 685) : La fonte pour rails vaut 2 l. 10 sh. et 2 l. 15 sh. (63 fr. 01 à 69 fr. 31) la tonne ; les fontes pour fers marchands valent 2 l. 15 sh. à 3 l. 5 sh. la tonne (69 fr. 31 à 81 fr. 92) ; pour fontes de moulages et fers très-spéciaux, on atteint de 3 l. 15 sh. à 4 l. la tonne (94 fr. 52 à 100 fr. 83). Telles sont les fontes à l'air froid de Pontypool et de Blœnavon. Pour le district de Swansea, qui fabrique à l'anthracite, seule, ou avec un mélange de coke, les fontes de qualité supérieure va-

1. Si c'est toujours relativement à la même t. de 1015 kil., les prix par t. de 1000 kil. seraient 63,30 et 64^{f}.53.

lent 3 l. 5 sh. à 3 l. 10 sh. (81 fr. 91 à 88 fr. 22). Ce district contient peu de fourneaux (trois ?).

M. Flouquet (I, 338), négociant en fers et fontes à Lille, estime le prix moyen des fontes anglaises, rendues en France, à bord, à 82 fr. 91. M. Thévenard, négociant à Bordeaux, l'estime ainsi pour les six derniers mois de 1859 :

Achat, 2 l. 12 sh.	65 fr.
Fret moyen, 13 sh. par tonne	16 25
Assurances et menus frais	1 »
	82 25

Prix moyen de la fonte en France et en Angleterre. — Donc, en résumé, les fontes françaises valent environ : au bois, 140 à 145 fr.; au coke, 120 fr. Les fontes écossaises valent en moyenne 64 fr. environ. Les fontes du pays de Galles, de 63 à 100 fr. au moins, en moyenne, 82 fr. 95. Si j'excepte les fontes les plus chères et d'un moindre emploi, la moyenne est 72 fr. 45. La moyenne aveugle de tous nos nombres est 78 fr. 20. En prenant la fonte d'Écosse pour moitié, la moyenne est 73 fr. 45. Je crois que, à proportion de l'emploi, 70 fr. seraient une moyenne suffisante, sinon généreuse.

M. Hochet, administrateur de Fourchambault (Nièvre), présente, sur la valeur des fontes anglaises et françaises, en France, un travail comparatif que je vais citer :

M. Hochet (I, 157), d'après des renseignements très-sûrs qu'il a fait prendre, admet que, dans les derniers six mois de 1859, l'écart entre les prix des fontes et des fers, en Angleterre, a été de :

Pour le Staffordshire	4^{l}
la Tees	$3^{l}\ 12^{sh}\ 6^{d}$
le pays de Galles	2^{l}
En moyenne	$3^{l}\ 04^{sh}\ 2^{d}$

Soit 80 fr. la tonne, qui, retranchés de 230 fr., prix du fer correspondant au droit de 70 fr., donnent 150 fr., dont les 30 p. 100 sont 45 fr.

Maintenant, continue M. Hochet, on introduit principalement les fontes d'Écosse, mais les fontes plus chères auront d'autant plus d'accès que le droit baissera davantage ; il est donc utile d'apprécier une valeur moyenne des fontes anglaises ; cette moyenne se compose :

1° Fonte de Glascow ;

2° Qualité supérieure de Beaufort, Pontypool, Blaenavon, Silverdal, Lorn ;

3° Fonte de Cleveland et Midlesborough ;

4° Fonte du Staffordshire.

Groupant ainsi les fontes de qualité supérieure, pour ne pas trop élever

la moyenne, on arrive à un prix moyen de 124 fr. 37, ce qui donne un droit de 37 fr. 03.

En examinant successivement les trois hypothèses suivantes, on verra que la fonte de moulage française ne peut pas lutter, même sur le littoral, avec la fonte anglaise.

Supposons que le fondeur compose ainsi sa matière :

Blœnavon nº 1, valant	6l 00sh	=	(151f·25)
Pontypool —	5 15	=	(144 94)
Beaufort —	4 05	=	(107 13)
Écosse —	2 15	=	(69 31)

Ce qui fait, en moyenne, au change de 25 fr. 40 la l.	94f 06
Pour fret, commission et assurance.	25 »
Droit actuel.	48 »
	167 06

Rendue dans les ports français, ou 159 fr. 06, si on réduit le droit à 40 fr.[1].

Voici maintenant comment M. Hochet compose le mélange analogue des fontes françaises :

Fonte de Berry, valant, prise à l'usine.	170 fr.
— Comté, —	190 »
— Périgord, —	155 »
Boccages ou fontes au coke valant	120 »
	635 »

$\frac{635}{4} = 158$ fr. 75; plus 25 à 30 fr. de frais de transport, total, 183 fr. 75 ou 188 fr. 75. L'avantage pour les fontes anglaises est donc de 21 fr. 69 avec le droit actuel, et 29 fr. 69 avec le droit réduit à 40 fr.

Si on prend 2 de fontes d'Écosse et 2 de moyenne de fontes supérieures, on arrive au prix, rendu en France, de 158 fr. 97 ou 150 fr. 97 avec droit réduit. De même pour les fontes françaises, moitié à 171 fr. 66 et moitié de boccages à 120 fr., avec le transport, donne 175 ou 170 fr. Encore 16 fr. 03 ou 24 fr. 03 en faveur de la fonte anglaise.

Enfin, si on prend la fonte d'Écosse pure, qui vaut 70 fr., d'après un renseignement du Consulat de France à Glascow pour les six derniers mois de 1859, avec frets et droits, on arrive à 143 ou 135 fr.

Le mélange comparable de fontes françaises serait moitié fontes au coke, à 150 fr., et moitié boccages, à 120 fr., soit 135 fr.; avec le transport, 160 ou 165 fr. La fonte anglaise a encore un avantage de 17 à 30 fr. par tonne.

1. Je ne comprends pas ce calcul de 94 fr., je trouve 118f·15, ce qui change complétement la thèse, et conclut en sens inverse de M. Hochet : 118f·15 + 25 + 48 = 191f·15.

Cette étude de M. Hochet présente des appréciations qui ne s'accordent pas avec l'ensemble de celles de l'enquête : elles ne s'accordent même pas toujours entre elles. Si on mettait les moyennes de l'enquête à la place de celles de M. Hochet, on obtiendrait un résultat opposé à celui que M. Hochet veut établir.

Cuivre.

Je vais examiner maintenant dans quel état la France se trouve vis-à-vis de l'Angleterre pour l'industrie du cuivre.

M. Œschger et M. Cubain (II, 158) expliquent que les conditions matérielles d'exploitation des minerais de cuivre sont tellement plus avantageuses pour les Anglais que pour les Français, que les premiers peuvent avantageusement exploiter des minerais pauvres, tandis que les Français doivent se circonscrire dans les minerais riches. Donc la seule industrie française est le traitement du cuivre brut, et c'est lui qu'il faut protéger. Le laminage du cuivre coûte 25 fr. et il faut 5 fr. de profit, en tout, 30 fr. Hé bien! il faut un droit de 30 fr. sur le cuivre en feuilles, car les Anglais bénéficient assez sur la fonte, et, pour vendre, ils pourraient donner le cuivre en feuilles au même prix que le cuivre brut.

M. Létrange (II, 160) explique ainsi la supériorité des fondeurs de cuivre anglais : Presque toute la fabrication du cuivre de la Grande-Bretagne est concentrée dans le district de Swansea. Les Anglais, à Swansea, ne payent leur charbon que 4 à 5 fr. la tonne, et les Français 20 à 30 fr. La main-d'œuvre pour la France et l'Angleterre se ressemble ; et elle serait la même si la fabrication française pouvait être aussi régulière que celle des Anglais; mais la matière manque pour cela. Fabriquant moins, la proportion des frais généraux augmente, etc. En outre, les Anglais sont entrepositaires des cuivres, et les Français, par suite, ont la matière première plus chère qu'eux.

Ce qui a établi le courant des minerais du Chili par l'Angleterre, c'est que, d'abord, ils exportaient de la houille au Chili. Cette certitude de fret à l'aller et au retour leur donnait un avantage certain. Maintenant on a trouvé de la houille au Chili ; cela va divulguer l'importation directe des minerais du Chili : elle augmente en France (180). Et ces messieurs concluent : puisque les Français ne peuvent lutter pour la production de la matière première, que le laminage leur reste!

M. Estivant (II, 220), qui, lui, est fondeur de cuivre, voudrait que les minerais entrassent en franchise, que l'on augmentât la taxe sur l'importation des cuivres bruts, en maintenant la taxe des cuivres ouvrés; il reconnaît la supériorité des fondeurs anglais qui sont lamineurs en même temps, pour la plupart, et s'entendent entre eux pour faire les cours.

On voit que les solutions diffèrent avec les intérêts qui les dictent.

Plomb.

Le prix du plomb est le même en France qu'en Angleterre, sauf le transport et le droit (M. Létrange, II, 184). Il y a quatre ou cinq mois, l'Espagne et l'Allemagne alimentaient la France de plomb; maintenant c'est l'Angleterre; elle importe en France 25,000 à 30,000 tonnes par an.

Le plomb brut payant 5 fr. par 100 kil., il faudrait un droit de 10 fr. sur le plomb laminé pour protéger les lamineurs français. Il faudrait même droit sur les plombs ouvragés ; d'ailleurs, ils ont peu d'importance.

D'après M. Rozan, fondeur à Marseille (II, 238), les Français et les Anglais achètent le plomb sur les mêmes marchés; donc la seule cause de la supériorité des Anglais, à cet égard, est l'économie qu'ils réalisent dans les traitements, parce qu'ils ont le fer et le charbon à meilleur marché. Si le plomb était affranchi, il faudrait, pour pouvoir lutter, franchise pour le fer, la fonte et le charbon.

Voilà des opinions qui s'accordent peu; mais si M. Létrange exprime un fait actuel, il me paraît très-relatif, comme il résulte du dire de M. Rozan.

Étain.

M. Spence (I, 542), propriétaire d'usines à fer-blanc dans le pays de Galles, fait remarquer que le meilleur étain, pour sa fabrication, vient de Hollande ; en sorte que, le transport de Hollande en Angleterre ou en France étant sensiblement le même, et n'y ayant pas de droit sur ce métal, l'étain est au même prix en France qu'en Angleterre.

M. Spence parle évidemment du droit d'exportation en Hollande, et oublie le droit d'importation en France; car M. de Wendel (I, 526) dit que l'étain de Rotterdam, dont M. Debladis (I, 526) se sert dans sa fabrication de fer-blanc, paye un droit d'entrée en France de 60 fr. par terre et 24 fr., par mer. D'ailleurs M. Debladis ajoute que nous payons l'étain sensiblement le même prix que les Anglais.

Je ne parle pas ici du fer-blanc, production importante sans doute, mais dont la nature mixte sort du cadre que j'ai dû m'imposer. D'ailleurs, le fer-blanc, comme tout produit auquel concourent les matières premières, fer, houille, etc., se ressent de la situation comparative de la France et de l'Angleterre à leur égard. Ainsi, M. Arthur de Buyer (I, 527) nous apprend que la caisse de fer-blanc anglais *charcoal* I. C. B., de 225 feuilles, pesant 51 kil., vaut 32 sh., soit 40 fr. 64, ce qui porte les 100 kil., à Paris, sans droits, à 83 fr. 50. D'ailleurs, les fers-blancs de Franche-Comté et des Vosges se vendent à Paris, la caisse I. C. B., de 225 feuilles, 55 kil., 65 fr.; ce qui fait 118 fr. les 100 kil.; et déduction faite du transport et des conditions de vente, à 108 fr. les 100 kil. Donc,

24 fr. 50 par 100 kil. en faveur des Anglais, dus aux causes que j'ai rappelées et non à la défectuosité des procédés français. Ces 24 fr. 50, joints aux économies du combustible pour l'étamage et les moteurs, à la diminution de frais généraux résultant d'une production dix fois plus considérable que la nôtre, constitue un avantage pour les Anglais, supérieur à 30 fr. par 100 kil. Le droit de 30 p. 100, résultant du prix des fers-blancs *charcoal*, revenant à 25 fr. les 100 kil., serait encore une faible protection.

Zinc.

M. Œschger et M. Létrange (II, 182) expliquent qu'il n'y a, pour ainsi dire, pas de fonderies de zinc en France, parce que les minerais n'ont aucune prime qui encourage l'établissement de fonderies. Les Belges vont chercher les minerais d'Espagne et les fondent; ils utilisent leur houille et leurs ouvriers, et nous vendent du zinc en plaques au simple droit de 0 fr. 10 c. par 100 kil. Les Anglais viennent de créer vingt-quatre fournaux à Swansea; ils font venir des minerais d'Espagne et d'Australie, et nous vendent des plaques de zinc pour le laminage.

D'ailleurs, il serait utile, d'après M. Létrange, d'encourager l'établissement des fonderies de zinc en France, ne fût-ce que pour la consommation du Midi, qui, actuellement, consomme le zinc provenant de minerais qui, venus de Santander, ont été fondus à Liége.

Je m'en tiendrai là de toute étude spéciale au cuivre, plomb, étain et zinc. Quelques-unes de ces industries ne sont pas présentées par l'enquête comme ayant une grande importance en France. D'ailleurs, j'aurai travaillé à leur cause commune de la manière la plus efficace, si je puis indiquer, dans la suite de cette étude, des améliorations sérieuses à réaliser sur le combustible, les transports et les entraves qui embarrassent quelquefois l'entrée des matières premières.

II.

Si la lutte ne peut être soutenue à armes égales, quelles sont les causes qui la rendent actuellement impossible?

Comme il était prévu, et même inévitable, bien des réponses partielles à ma deuxième question sont venues se glisser dans l'examen de la première : le sujet que je traite ne comporte pas les divisions rigoureusement tranchées. Je vais passer en revue, successivement, les points qui peuvent mettre en évidence la solution que je cherche.

MINERAIS DE FER.

Le rendement des minerais et leur prix ne peuvent pas être séparés quand il s'agit de déterminer un prix de revient : voyons les principaux matériaux que l'enquête présente à cet égard.

La quantité de minerai nécessaire pour produire 1,000 kilog. de fonte, est évaluée par M. Spiers (I, 51) à 2,700 kil. pour les espèces variées employées dans le pays de Galles. Ces minerais valent, d'après lui, 12 à 13^{sh} (15 fr. 10, à 16 fr. 35) la tonne, composée de minerais carbonatés à 5 et 6^{sh} (6 fr. 30 à 7 fr. 56) et d'hématites à 16^{sh} (20 fr. 15), ce qui ferait en moyenne, 2^t. 700 $\times$ 15 fr. 72 = 42 fr. 44, par tonne de fonte.

M. Baudry (I, 103. 108), (Meuse et Seine et Oise) paye son minerai 14 fr. le mètre cube ; il rend environ 37 p. 100 et pèse 160 à 165 kil. ce qui fait un prix de $\frac{14 \text{ fr.}}{1^t. 625}$ = 8 fr. 61 la tonne. Il faut 16^h. 82 de minerai par tonne de fer à 14 fr., ce qui fait 23 fr. 55. (Je calcule que 1$^{m.c.}$ 682 $\times$ 1,620 kil. = 2^t. 725^k environ).

M. Leclère fils (I, 263), (Nord) compte 3 tonnes de minerai par tonne de fonte, en spécifiant que le rendement est de 27 à 34 p. 100.

M. Sthrol (I, 173), un des délégués par le groupe des forges au bois du Doubs, Haute-Saône, Jura, Vosges, Haut-Rhin, et partie de la Côte-d'Or, dit que le groupe des usines dont il parle consomme, par an, 240,000$^{m.c.}$ de minerai pour 120,000 tonnes de fonte. Il ajoute (I, 177) que le minerai vaut en moyenne, dans la Comté, 28 fr. le mètre cube, ce qui, en admettant un poids de 1^t. 630 par mètre cube, fait 17 fr. 17 la tonne. Il en faut 2 mètres cubes par tonne de fonte, ce qui fait 3 tonnes 26 par tonne de fonte, c'est-à-dire 56 francs.

M. P. Talabot, directeur du chemin de fer de Lyon à la Méditerannée (I, 214), dit que les minerais que les Anglais ont sur place rendent 25 p. 100, tandis que les minerais français rendent 40 p. 100. Et il ajoute que ce fait permet aux minerais français de supporter quelques frais de transport et de lutter encore avec les minerais anglais.

Voici d'ailleurs le résumé des renseignements obtenus par M. Moussette, inspecteur principal des chemins de fer, sur la valeur et la richesse des minerais anglais rendus au pied du fourneau (I, 364) : Les minerais de Cornouailles donnent 50 p. 100 et coûtent 12^{sh} (15 fr. 10) rendus aux usines du pays de Galles ou du Monmouthshire. Les minerais du pays de Galles donnent 40 p. 100 et valent 5^{sh} (6 fr. 30) aux usines du pays. Le minerai d'Ulverstone (Lancastre) coûte 17^{sh} (21 fr. 42) et rend près de 60 p. 100. A Ulverstone même, ce minerai coûte 8^{sh}, 3^d (10 fr. 40) et 10^{sh}. (12 fr. 60) rendu aux fourneaux de Barrow.

M. Gruner, ingénieur en chef des mines (II, 695), dit que les minerais de Cleveland renferment de 25 à 30 p. 100 de fer ; après le grillage 35 à 40

p. 100. Le minerai de Midlesborough, calciné, contient environ 40 p. 100. Vers l'est, la richesse est 33 p. 100 ; dans l'intérieur elle va à 45 p. 100 ; 40 p. 100 est une bonne moyenne.

M. Gruner rapporte aussi (II, 685) que les minerais du Lancashire et du Cumberland, rendus dans le pays de Galles, varient entre 18^{sh} 6^{p} et 21^{sh} 6^{p} (23 fr. 31 et 27 fr. 09); quelquefois 24^{sh} 6 (30 fr. 87). Le minerai spathique de Sommersetshire, coûte, rendu, 22^{sh} 6 (28 fr. 35). Le minerai du pays de Galles, lui-même, dont la teneur est de 25 à 30 p. 100 et qui se trouve uni à la houille, vaut environ 11 à 12 fr. la tonne ; le meilleur, de 16 à 17 fr. Ordinairement on met 50 p. 100 de minerai houiller ; 30 p. 100 de minerai oxydé et 20 p. 100 de scories. Pour les qualités supérieures on supprime en partie les scories et même le minerai oxydé. En moyenne la tonne de 1000 kil. vaut 25 fr., sur lesquels il y a 10 fr. au moins de transport.

Les minerais traités dans le Staffordshire, valent environ 15 fr. la tonne, en moyenne, à l'usine (II, 693). Les minerais du Cumberland, rendus, coûtent 18 à 19^{sh} (22 fr. 68 à 23 fr. 94).

Le minerai de Midlesborough, coûte 3^{sh} à 3^{sh} 6 (3 fr. 78 à 4 fr. 41). Il se vend 4 à 4^{sh} 6 (5 fr. 04 à 5 fr. 67). Au sud des collines (où on commence), le prix de revient est encore 2^{sh} 6 à 3^{sh} (3 fr. 15 à 3 fr. 78). La Compagnie des mines du Sud, vend aux usines du pays de Durham. Le prix de vente varie de 3^{sh} 6, à 4^{sh} 6 (4 fr. 41, à 5 fr. 67).

M. Lan, ingénieur des mines (II, 702), nous apprend que le minerai d'Écosse, grillé, contient de 60 à 65 p. 100 ; il vaut 15 à 18 et 19^{sh} (18 fr. 90 à 22 fr. 68 et 23 fr. 94), et tend à monter.

D'après M. Peltereau de Villeneuve (I, 130), dans la plus grande partie des hauts-fourneaux de la Haute-Marne, qui sont convenablement placés et peu distants du minerai, il coûte 25 fr. le 1^{m}. ^{c}. 55 à 1^{m}. ^{c}. 65 lavé. (Au poids de 1650 kil. le mètre cube, cela fait 2^{t}.640 ou 9 fr. 46 la tonne.) Il ajoute (I, 169), que dans la Haute-Marne, le minerai de roche rend au lavage 32 p. 100, et le minerai d'alluvion 50 à 60 p. 100. Le minerai qui tient le milieu rend 38 à 40 p. 100 : en moyenne, 25 fr. de minerai par tonne de fonte. Tel est aussi l'avis de M. Desforges (I, 284).

M. Pinart (I, 293), à Marquise (Pas-de-Calais), a du minerai qui rend 33 p. 100 et vaut 10 fr. à l'usine (ce qui fait environ 30 fr. par tonne de fonte).

M. Boutmy (Ardennes), (I, 246) fabrique au bois, et emploie un minerai qui rend 33 p. 100 et vaut 15 fr. la tonne, ce qui fait 45 fr. par tonne de fonte (15 fr. d'extraction et de lavage ; 6 fr. de redevance et 24 de transport).

M. Budd (I, 546), propriétaire d'usines dans le pays de Galles, dit que le minerai hématite du Cumberland leur coûte à peu près 20^{sh} (25 fr. 20 la tonne).

Il faut encore jeter les yeux sur quelques minerais étrangers qui entrent dans l'usage de la métallurgie française.

Minerais de fer belges. L'importation des minerais belges a été de 54,000 t. en 1858, et elle s'accroît (I, 647). M. Pastor, directeur d'usines près de Liége, emploie un minerai qui rend 38 p. 100 et exige 2 tonnes 75 (?) par tonne de fonte. (Minerai oligiste 32 à 45 p. 100; minerai hydraté 32 à 36 pour 100). Ce minerai vaut 12 à 15 fr. la tonne, rendue à l'usine. M. Leclercq donne, comme prix moyen du minerai dans les hauts-fourneaux de Belgique, 16 fr. 50 la tonne. Du groupe de Charleroi au groupe français du Nord, leur transport est de 2 fr. la tonne (M. Wautelet. 661).

Minerais de fer d'Espagne. — M. Thévenard, négociant à Bordeaux (I, 338), cite que les ports de l'Ouest et du Midi reçoivent généralement des minerais d'Espagne, dont le prix, à Bordeaux, est de 21 fr. 50 la tonne.

D'après M. Voruz (I, 366), les minerais d'Espagne valent environ 25 fr. la tonne, dans les ports de l'ouest de la France. Ces minerais, qui sont très-abondants, sont excellents comme rendement et comme qualité. Si le droit de sortie d'Espagne (3 fr. 98 la tonne de 1,000 kil.) était supprimé, la vente, à coup sûr, en centuplerait. Il est important de maintenir la surtaxe de 3 fr. par tonne pour le transport des minerais étrangers, en faveur de la marine française.

Minerais de fer de Nassau. — M. de Wendel (Moselle), (I, 60) dit que le minerai de Nassau, à la sortie du Zollverein, est grevé d'un droit de 12 fr. 00 par tonne, droit à peu près égal à son prix d'achat qui est de 13 à 14 fr. sur place (70). Ce minerai rend 62 à 63 p. 100 (68). Rendu, il coûte 50 fr. et ne sert qu'exceptionnellement.

Je vais tâcher de résumer cette longue suite de renseignements. Il va sans dire, et cependant je l'exprimerai ici, que les moyennes, dans ce cas plus que dans bien d'autres, ne donnent pas l'exactitude absolue; *un* chiffre ne donnera de résultat exact que pour *un* exemple particulier, comme pour une certaine usine de France, relativement à une certaine usine d'Angleterre. Mais l'enquête ne cherchait et ne pouvait chercher que peu de chiffres d'une application générale : il est naturel que nous fassions de même.

Prix moyen des minerais de fer en France. — Les chiffres divers que l'enquête m'a fournis sont-ils, entre eux, en proportion avec la fabrication française, de façon que la moyenne prise sur eux s'accorde avec la moyenne véritable? L'enquête ne le dit pas.... En tout cas, j'en tire un prix moyen du minerai en France de 11 fr. 70 et 34 fr. 87 par tonne de fonte [1].

1. Voir *Complément à l'Etude sur l'enquête*, etc., chap. V.

Prix moyen des minerais de fer en Angleterre. — Pour l'Angleterre, je trouvé une moyenne pour le prix du minerai de 15 fr. 74, qui donne un prix moyen par tonne de fonte de 35 fr. 84.

Le haut prix de ces minerais tient à ce qu'ils sont généralement grillés; peu importe, puisque je n'ai jamais isolé leur teneur de leur prix. On ne peut pas objecter non plus à la moyenne de mes exemples que plusieurs citent des minerais venant de loin, d'autres des minerais traités près du lieu d'extraction.... Il se rencontre que le rapport des uns et des autres exemples que l'enquête m'a fournis, est sensiblement le rapport qui existe, en Angleterre, entre la quantité des minerais traités sur place et de ceux traités au loin.

Prix des minerais de fer en Écosse. — L'Écosse a une moyenne de minerais plus élevée, 21 fr. 84; mais comme leur teneur est plus grande, le prix par tonne varie peu; il est de 35 fr. 20.

Pour la Belgique, j'ai peine à poser une moyenne; est-elle de 43 fr. 40 ou 39 fr. 45 par tonne de fonte? Je ne sais.... je vois seulement, en passant, que la France n'a pas à gagner de ce côté-là.

Les minerais d'Espagne reviennent fort cher en France, 23 fr. 25; ils constituent une dépense de 62 fr. 77 par tonne de fonte, autant que je puis croire, et en leur appliquant la moyenne des rendements que j'ai trouvés.... Rien, dans l'enquête, ne précise leur teneur; rien donc ne m'autorise à penser que leur teneur soit assez forte pour neutraliser leur prix élevé. D'ailleurs le droit de sortie d'Espagne fût-il supprimé, comme le désire M. Voruz, il n'en résulterait qu'une économie de 2, 70 × 3, 98 = 10 fr. 74 par tonne de fonte.

Situation relative de la France et de l'Angleterre quant aux minerais de fer. — En somme, il y a entre la France et l'Angleterre, en faveur de la France, une différence de 1 fr. par tonne de fonte. Relativement à l'Écosse, cette différence n'est que de 0 fr. 47. — Le *Mining-Records*, cité plus loin par M. Flachat, donne un chiffre qui constituerait une différence, en faveur de la France, de 1 fr. 70, quant au minerai. On voit que l'avantage en faveur des minerais français n'est pas tel que l'admet M. P. Talabot. Mais je pense qu'il n'a pas assez uni la question de prix et de teneur, et n'a pas vu que la teneur qu'il exprime ne se rapporte pas aux prix généralement cités.

On a déjà entendu M. Bird (I, 49) exprimer la pensée que, si l'Angleterre a l'avantage de posséder des houilles à bas prix, la France a l'avantage non moins grand d'avoir du minerai d'excellente qualité d'un coût bien moins élevé. C'est à cette infériorité moyenne des minerais anglais qu'est dû ce fait, qu'il n'y a pas un seul groupe d'usines en Angleterre, comme le remarque M. Flachat (II, 664), qui se serve exclusivement de son minerai pour produire de la fonte. L'amélioration de la qualité n'est obtenue que par le mélange de minerais éloignés les uns des autres; de telle sorte que, pour une production de 3,000,000 de tonnes de fonte,

nécessitant une extraction de 8,000,000 de tonnes de minerai, il y a 35,000,000 tonnes de celles-ci qui sont réparties, dispersées dans les différents groupes. Il en résulte que le minerai qui vaut en moyenne 8 fr. la tonne, sur la mine, vaut 13 fr. 75 en moyenne à l'usine; d'où la moyenne de la mise de fonds pour une tonne de fonte, en Angleterre, est de 36 fr. 55 (tiré du *Mining-Records*) [1].

Ce qu'est et ce que devrait être la situation de la France, quant aux minerais de fer. — D'ailleurs M. Flachat (II, 664), comparant la production de la fonte, en France et en Angleterre, au point de vue de la matière première, telle que la nature la donne dans le groupe de la Meuse, Marne, Moselle et Berri, reconnaît qu'il y a un avantage considérable pour la France. Et cependant, continue M. Flachat, cet avantage n'existe pas en fait; et cela tient au régime que l'administration a imposé à la fabrication du fer en France. La loi des mines, dont le but était, sans doute, de procurer le bas prix du minerai, par la manière dont elle a été appliquée, en a fait le haut prix. D'après cette loi, aucun fabricant de fer ne peut posséder de minerai, qui serait la garantie de son capital [2]. Toute usine nouvelle venue, à laquelle il plaît de s'établir à la porte d'une ancienne usine, aura droit de prendre sa part dans la minière que l'ancienne forge exploitait à sa porte même. Le minerai de fer que, certes, la loi considérait comme *matière première*, est considéré comme *marchandise* par la jurisprudence, même administrative. Les marchands de minerai sont tolérés par l'administration. Si la loi des mines avait été interprétée dans le sens de l'utilité publique, le minerai aurait été simplement chargé d'une redevance représentant le préjudice que son extraction cause à l'agriculture : loin de là, il y a tel hectare de mine qui rapporte 20,000 à 30,000 fr. à son propriétaire [3]; il y a tel hectare de mine où le minerai paye 5 à 6 fr. par tonne à son propriétaire (II, 665).

M. Rouher, président du Conseil, observe lui-même (II, 681) que le permis d'extraction est payé 3, 4 et 5 fr. par tonne, d'où il résulte que dans certains cas le propriétaire reçoit 10, 12 et jusqu'à 15 fr. par tonne de fonte sans aucune espèce de préjudice pour lui, car on paye indépendamment le préjudice. « Et si par hasard, ajoute-t-il, les propriétaires « des hauts-fourneaux veulent s'entendre, non pas d'une façon abusive, « mais pour empêcher des prix très-élevés de s'augmenter encore, il « peut arriver, et j'en ai vu un exemple, que les usiniers les plus impor- « tants de France soient dénoncés et poursuivis comme coupables de coali- « tion ; de telle sorte que, s'il n'était advenu une crise commerciale très- « grave, qui a donné des inquiétudes aux propriétaires, on aurait vu ce

1. Voir *Complément*, chap. V.
2. Voir *Complément*, chap. III.
3. Quatre à six fois la *valeur* moyenne des bons terrains !

« fait regrettable, je crois, que les chefs des plus grandes usines fran-
« çaises auraient comparu devant un tribunal correctionnel, parce qu'ils
« auraient essayé, dans l'intérêt même des propriétaires, d'exploiter plus
« sagement, en tirant un meilleur profit de la richesse minérale, au lieu
« de la gaspiller, et cela en payant aux propriétaires du sol un tribut
« d'environ 12 à 14 fr. par tonne de fonte. »

De plus, ajoute M. Flachat, il n'est pas permis aux maîtres de forges de se former en syndicats, de se *périmétriser*, c'est-à-dire d'établir le périmètre dans lequel ils pourront prendre leurs approvisionnements. S'ils le faisaient, ils seraient considérés comme ayant commis un délit de coalition. C'est ce qu'accuse notamment M. Luuyt, maître de forges à Vierzon (Cher) (I, 77). Pour limiter la hausse des prix, les maîtres de forges se sont concertés pour extraire le minerai, chacun dans son voisinage, dans un périmètre déterminé : les propriétaires ont fait des plaintes sérieuses, il y a eu des poursuites, et il a fallu s'arrêter.

J'inscris ici une remarque qui m'est personnelle : Dans la loi du 21 avril 1810, l'art. 8 déclare les mines *immeubles*, et l'art. 9 déclare les minerais *meubles*. Mais la mine étant immeuble, son propriétaire (qui devrait pouvoir être producteur de fer), doit évidemment posséder le droit exclusif d'exploiter son immeuble; et la jurisprudence que signale M. Flachat me paraît contraire, non-seulement à l'esprit de la loi, mais à sa lettre : En effet, le Code civil, art. 546, dit : « La propriété d'une « chose, soit mobilière, soit immobilière, donne droit sur tout ce qu'elle « produit.... » Art. 545 : « Nul ne peut être contraint de céder sa pro- « priété, si ce n'est pour cause d'utilité publique.... » — Mais je ne veux pas entamer le procès de l'administration.

Sans doute, continue M. Flachat, les préfets sont là pour prévenir cet état de choses; « mais ils rencontrent dans les conseils généraux et par-
« tout autour d'eux la propriété qui leur dit : Il y a un droit protecteur
« qui était précédemment de 70 fr., qui est actuellement de 45 fr. par
« tonne de fonte; ce droit n'a pas été établi au profit d'un seul; il doit
« être partagé entre tout le monde. — Les préfets, l'administration même
« admettent ce langage; et c'est ainsi que l'influence exercée par la pro-
« priété a fait dévier la loi des mines de son but, à la suite d'une protec-
« tion évidemment exagérée, à ce point que l'on a compromis l'industrie
« du fer en l'empêchant de profiter de ce que la nature avait fait pour
« elle. »

« Ce n'est pas tout; la loi des mines autorise un maître de forges à faire
« des chemins d'exploitation moyennant le payement du double de la
« valeur du terrain sur lequel il a besoin de passer; mais aujourd'hui,
« si après avoir fait un chemin d'exploitation il place des rails sur ce
« chemin, à l'instant il rentre dans les conditions générales d'enquête
« d'utilité publique et de concession préalable qui doivent précéder
« l'établissement des grandes lignes de chemin de fer. Il y a mieux :

« S'il achète un terrain à l'amiable, pour ouvrir un chemin, le maire du « village peut lui défendre et lui défend même de franchir les chemins « d'exploitation rurale, ou les chemins vicinaux par des passages à ni- « veau, avec les rails qu'il aura pu placer, s'il ne paye un droit à la « commune. » En résumé, pour l'exploitation du minerai, la loi protége l'établissement de mauvais chemins et refuse son concours pour les bons. Toutes les fois que les maîtres de forges se sont plaints des conditions qu'on leur faisait, l'administration leur a déclaré que la loi ne leur permettait pas l'établissement d'un chemin de fer, à la place d'un chemin d'exploitation, en les exonérant des formalités prescrites par la loi qui régit toutes les voies ferrées.

COMBUSTIBLE.

Un des éléments les plus importants de la situation métallurgique est certainement le combustible. Voyons sa valeur en Angleterre et en France. D'abord le bois.

Chiffres relatifs à la valeur du bois et du charbon de bois en France, par mètre cube, et par tonne de produit. — D'après M. Sthroll (I, 174), le groupe de Comté emploie par an, 1,020,000 mètres cubes de charbon provenant de 3,060,000 stères de bois, à 3 fr. le stère, payé à l'État, aux communes ou aux propriétaires. Les frais de coupage, cuisage et transport, sont, pour cette quantité, 7, 140,000 fr. soit 7 fr. le mètre cube de charbon [1]. Ces usines font, par an, 120,000 tonnes de fonte et 91,100 tonnes de fers divers, en tout 211,100 tonnes.

Si je réfère maintenant à l'opinion de M. Vautherin, directeur gérant de la Cie des forges de la Franche-Comté (I, 500), qu'il faut 18 stères par tonne de fonte, et 19 stères 50 (et 1350 kil. de fonte) pour produire une tonne de fer en barres, les chiffres de M. Sthroll me donnent pour valeur du charbon par tonne de fonte 6 m. c. à 16 fr. soit 96 fr. ; et pour la conversion d'une tonne de fer 6^{m} 50 à 16 fr., soit 104 fr. ; mais tout le combustible employé pour fabriquer 1 tonne de fer, serait $6 \times 1^{t}\,350$ à 16 fr. et $104^{f} = 233$ fr., 60.

M. Baudry (I, 103) accuse 5 m. c. 600 par tonne de fonte à 20 fr., soit 112 fr. ; ou à 18 fr., soit 100 fr. 80.

M. Peltereau de Villeneuve (I, 130) compte par tonne de fonte 5 m. c. 50 à 30 fr. sans l'achat, (qui viennent de 14 stères de bois, ce qui fait seulement 2 stères 54 par m. c.); cette donnée fait 5 fr. 45 le m. c. Le prix moyen du stère, dans la Haute-Marne, est 4 fr, 50; cela fait $\frac{14 \times 4,50}{5, \times 5.} =$ $11^{f}\,45$; en tout 16 fr. 90. Le prix du charbon par tonne est donc 16 fr. 90 $\times$ 5. 5 $= 92^{f}\,95$.

1. Valeur totale 16 fr. par mètre cube de charbon.

M. Boutmy (Ardennes), (I. 246) compte 85 fr. de charbon par tonne de fonte.

M. Desforges (Haute-Marne), (I, 283) calcule que la Haute-Marne, pour soutenir la concurrence de Paris qui peut avoir la fonte à 140 fr., ayant à payer 20 fr. de transport, doit produire à 120 fr. Or, les frais généraux étant 45 à 50 fr., il reste 70 fr. pour le bois par tonne de fonte. A raison de 6 m. c. cela fait 11 fr. 30 le mètre cube. Or, avec 5 fr. 40 de frais de fabrication et transport de charbon [1], et notant qu'il faut 2 stères 40 par m. c. de charbon, on arrive à ce résultat, que le bois ne doit coûter que 2 fr. 45 le stère [2].

D'ailleurs M. Desforges (287) compte 6 m. c. pour les fontes de moulage et 5 m. c. 50 pour les fontes d'affinage. M. Desforges paraît n'avoir jamais obtenu le prix de 70 fr. pour le charbon; les exigences du commerce n'ont pas encore été aussi pressantes, mais il ne paraît pas espérer de le réaliser sans modifications essentielles.

M. Barbezat (I, 384), fondeur à Paris, dit que depuis vingt ans, la moyenne du prix du charbon est 19 fr.

M. Japy (Haut-Rhin), (I, 535) fait exploiter sur place du charbon de bois qui lui revient à 14 et à 16 fr. le mètre cube.

M. Baur (quincaillerie, Bas-Rhin), (II, 89) paye le bois 11 fr. le stère et le charbon 8 fr. les 100 kil. (ce qui fait 19 fr. 80 c. le mètre cube).

M. Marilhat (I,622), fabricant de coutellerie dans le Puy-de-Dôme, emploie du charbon de bois de la localité à 80 fr. la tonne. (A 330 kil. le mètre cube, ce serait 26 fr. 60 ; mais je crois qu'il faut prendre le poids à $\frac{0.33 \times 3.}{4.} = 0.2475$, ce qui fait 19 fr. 80.)

M. Plumerel, coutelier à Nogent (Haute-Marne), (I,800) emploie du charbon de bois à 22 fr. le mètre cube.

M. Vanéchout, directeur de l'Établissement impérial de la marine, à Guérigny (Nièvre), (II, 8) paye son charbon 77 fr. les 1000 kil. Il estime que s'il le faisait lui-même, il ne lui reviendrait qu'à 60 fr. (19 fr. 05 le mètre cube; à 60 fr. ce serait 14 fr. 85). M. Vanéchout compte de 12 à 1,400 kil. de charbon par tonne. Si j'adopte le poids de 0. 2475 par mètre c. qui est les 3/4 de 0, 33 qu'indique M. Genyes, j'obtiens 4 mètres cubes 85 à 5 m. c. 61. En tout cas, la valeur par tonne de fonte, et d'après les chiffres de M. Vanéchout, est 92 fr. 40 et 107 fr. 80, qu'il suppose pouvoir se réduire à 72 fr. et 84 fr.

1.

Exploitation et empilage	1f 80	
Dressage et cuisson	1 00	
Frais divers	0 20	
	3 00	5f 40
Transport	2 40	

2. $\frac{70^{f} - (5.40 \times 6. = 32,40) = 37,60}{2.40 \times 6.00 = 14.40} = 2^{f}\,61.$

Prix du charbon de bois. — Valeur du charbon de bois par tonne de fonte. — D'après tous ces renseignements la moyenne du prix du charbon de bois serait 18 fr. 55, et la dépense de combustible par tonne de fonte serait en moyenne 97 fr. 73.

Prix du charbon de bois en Angleterre. — Pour l'Angleterre, le prix du charbon de bois n'a pas le même intérêt : cependant un exemple que je vais citer établit que les industries spéciales qui l'emploient en Angleterre le payent le même prix que les industries analogues en France. Ce prix est environ 20 fr.

M. Jackson (Sheffield), (I, 421) cite le prix du charbon de bois comme de 6 à 9 p. le bushel (0 fr. 63 à 0 fr. 94 les 36 litres, ou 63 à 94 fr. les 3 mètres cubes 60, c'est-à-dire 17 fr. 50 à 26 fr. 10 le mètre cube).

Ce qu'est et ce que devait être la situation des forges françaises relativement au bois.—Recueillons ici un document qui nous servira plus tard à tirer quelques conclusions : Comme le remarque M. Peltereau de Villeneuve (I, 141), les propriétaires de bois font comme tous les autres, ils élèvent leurs prix quand il y a beaucoup de demandes de fer, en sorte qu'il faut beaucoup de bois quand il est cher, et peu quand il est bon marché. En 1858 et 1859, M. Peltereau de Villeneuve payait le bois 4 fr. 50 le stère. Il énonce qu'une baisse jusqu'à 3 fr. 00 est nécessaire dans un rayon de 15 à 20 kilomètres. Pour de plus grandes distances, le prix devrait baisser à 2 fr. et 1 fr. 50. Si en 1845, 46 et 47, les forges ont pu supporter un prix du stère de 6, 50 à 7 fr. 00, c'est que la production du fer à la houille avait une extension bien moindre.

Mais écoutons M. Flachat (II, 668) signaler des vices beaucoup plus graves de l'administration des forêts : Sur 8 millions d'hectares de forêts que la France présente, 3 sont régis par l'État, partie comme bois de l'État, partie comme bois des communes; et l'État fait subir aux forges les mêmes exigences qu'il aurait pour des particuliers dont les achats n'intéressent que leur utilité personnelle. C'est ainsi que de 1816 à 1860 le million d'hectares que l'État a en propre a vu son rapport s'accroître de 17,900,000 fr. à 37,355,000 fr. Les bois des communes ont été administrés de même. En outre, le budget profite de 20 à 22 p. 100 d'économie faite depuis vingt ans sur le combustible bois. (On mettait 13 à 15 kil. de charbon pour 10 kil. de fonte, et maintenant on met poids pour poids). De plus, il est sévèrement défendu aux forges de se périmétriser, c'est-à-dire de convenir entre elles des limites dans lesquelles chacune devra s'approvisionner. Toute tentative de ce genre, comme pour s'entendre dans les adjudications, a toujours été poursuivie comme coalition : il en est résulté que le combustible *bois* a été vendu à un prix qui, en lui-même, représente les 2/3 de la protection. Dans le Berri, de 3 fr. 00 que se payait le mètre cube de charbon [1] de bois avant la pro-

1. Je pense qu'il s'agit du bois par mètre cube de charbon, c'est-à-dire 3 stères à 1 fr.

tection, il se paye maintenent 12 à 13 fr., en même temps que le prix du fer a diminué. En sorte que la protection destinée à l'industrie ne profitait guère qu'à l'État, grâce à une coalition de fait. La législation ne veut pas que la coalition industrielle soit permise ; mais la centralisation par l'État est permise, et il en résulte que l'adjudication étant faite au plus offrant, la concurrence attaque toujours celui dont les besoins sont les plus immédiats.

Enfin, le plus grand préjudice pour la production du fer, c'est que l'adjudication du bois est annuelle.

Il faudrait laisser les forges se périmétriser, s'entendre en liberté : elles sont forcées de le faire en secret. Il faudrait laisser les maîtres de forges se réunir en syndicats pour acheter des bois, etc. Il faudrait donner des concessions pour le bois comme pour la houille : ce ne serait qu'avec des adjudications décennales que le travail et les capitaux pourraient agir avec quelque sécurité. Avec ces changements et une protection de 30 p. 100, le fer au bois se soutiendrait, dans la Meuse, la Marne, la Moselle et le Berri notamment.

L'emploi du bois correspond à une plus-value, pour la fonte, de 10 à 20 fr., quant à la qualité. Le périmétrage n'est pas possible pour la vente des bois, car ils appartiennent à trois personnes : l'État, les communes, les particuliers. Mais le syndicat remédie à tout ; il pourra acheter vis-à-vis des particuliers, comme vis-à-vis du Gouvernement. L'élément qui est la cause des hauts prix, c'est le bois ; il faut le rendre plus accessible aux producteurs de fer ; à moins d'éteindre la fabrication du fer mixte et d'y substituer celle du fer à la houille. Si les fers mixtes doivent disparaître, il y aura une secousse, car ils alimentent la plus grande partie des industries qui s'occupent de l'élaboration du fer. Peut-être plus tard y aura-t-il progrès ? mais que ce soit un progrès par transformation et non pas par ruines. Que l'industrie du fer, en France, se trouve vis-à-vis du minerai et du bois, comme la filature se trouve vis-à-vis du coton ; tout marchera bien et la fonte française pourra lutter avec la fonte anglaise.

Quant à la fabrication du fer à la houille qui pourra avoir lieu ultérieurement dans la contrée dont je m'occupe, je crois que les prix de production de la France pourront être égaux à ceux de la production anglaise, à raison de la balance qui s'établira entre les prix du combustible minéral en France et en Angleterre, au moyen des avantages que présente le minerai français, comparativement au minerai anglais (II, 674).

HOUILLE.

La houille est un des éléments les plus importants de la question qui m'occupe ; je vais y appliquer un examen semblable à celui que j'ai fait relativement au bois, et tâcher d'obtenir de l'enquête une évaluation comparative de la houille en France et en Angleterre.

Chiffres relatifs au prix de la houille en France et en Angleterre. — M. L. Talabot (I, 28-34) présente comme moyenne du prix de la tonne de charbon en Angleterre, 4 fr., et en France, 17 fr. 60. Dans le pays de Galles notamment, le prix ne dépasse guère 4 sh. (5 fr. 04). Le Conseil pense que cette différence est un peu forcée, les données, dans chaque cas, n'étant pas prises exactement au même point de vue. M. Benoît-d'Azy explique qu'en Angleterre les propriétaires de forges, l'étant aussi de houillères, peuvent souvent compter leur menu presque rien d'après la vente du gros au dehors, tandis qu'en France, dans les meilleures conditions, il faut compter le menu au prix de revient.

M. de Wendel (Moselle) (I, 64, 68) donne pour prix de la houille 10 + 7 + 1, 20 = 18 fr. 20, et prétend qu'elle lui coûte 12 fr. de plus qu'en Angleterre; cela constituerait, pour nos voisins, un prix de 6 fr. 20.

D'après M. Mirio, négociant en fers à Paris (I, 88), la houille que les Anglais emploient vaut de 6 à 8 fr. la tonne, tandis qu'en France, même sur le littoral, on ne l'a pas à moins de 25 à 30 fr.

M. Baudry (I,107) paye la houille 27 fr. la tonne dans Seine-et-Oise.

M. Peltereau de Villeneuve (Haute-Marne) ne peut avoir la houille de Sarrebruck, qui est à 270 ou 280 kilomètres, à moins de 32 fr.; et c'est le plus près où il puisse s'en procurer.

M. de Pruines (Vosges), (I, 189) paye la houille 30 fr. rendue et 20 fr. à la houillère. D'après lui la houille vaut, en Angleterre, 4 ou 5 fr.

M. Paulin Talabot (I, 198) admet en général que la différence du prix de la houille entre la France et l'Angleterre est de 4 fr., ce qui ne fait que 22 fr. par tonne de fer fabriqué.

M. Westerman (II, 119) évalue à 12 fr. la différence de prix de la houille en France et en Angleterre.

M. Mouchel (Orne), (II, 189) emploie de la houille anglaise qu'il paye 25 fr. à Dieppe et 52 fr. chez lui. Il évalue que cette houille coûte en Angleterre, rendue aux usines, 8 fr. la tonne.

M. Mony (I, 160), directeur des forges de Commentry (Allier), qui possède une mine de houille dans de très-belles conditions de gisement, estime son charbon à 12 fr. la tonne sur la mine (24 fr. 20 à Paris). 7 fr. 80 dépasse le prix de revient tous frais compris (166).

M. Fournier (Orne), (I, 512) paye la houille 42 fr. rendue, et note qu'à Halifax elle vaut 10 fr.

M. Debladis (Nièvre), (I, 535) paye les houilles de Saint-Étienne et Ronchamp 36 à 40 fr.

M. Joly (Argenteuil), (I, 570) paye 30 fr. 30 la houille qui vaut, à Mons, 15 fr. 50; 42 fr. le charbon fine-forge de Saint-Étienne, qu'il évalue 22 fr. à la fosse.

M. Bricard, serrurier à Paris (I, 587), emploie du charbon du Nord et anglais, dans le département de la Somme, à 26 et à 27 fr. la tonne.

M. Gandillot (I, 598) paye le charbon de Saint-Étienne 45 fr. à Paris. M. Boutevillain (609) y paye 35 fr. le charbon d'Anzin.

M. Marilhat constate (I, 622) que la coutellerie du Puy-de-Dôme paye 45 fr. les houilles de la Loire.

M. Vieillard (I, 671) paye la houille de Saint-Étienne 45 fr. dans le Haut-Rhin ; une baisse serait possible.

M. Mermilliod aîné (I, 708) témoigne que la coutellerie de Châtellerault paye le charbon de Saint-Étienne, comme le charbon anglais, 38 à 42 fr.

M. Limet (I, 752), coutelier dans le département de la Seine, paye 50 à 60 fr. le charbon de forge de Saint-Étienne, et 40 à 50 fr. le charbon anglais.

M. Jussy (II, 27), fabricant d'armes à Saint-Étienne, n'emploie que des charbons de la localité de première qualité, qui, rendus, lui coûtent 15 à 17 fr. 50.

M. Manceaux, armurier à Paris (II, 59), dit que la houille de forge vaut 10 fr. en Belgique et 45 fr. en France.

M. Roswag (II, 68), fabricant de toiles métalliques à Paris, brûle pour chauffage de la houille de la Moselle, à 35 fr. 60 la tonne.

M. Baur, fabricant de quincaillerie (Bas-Rhin) (II, 87), emploie la houille maréchale de la Loire à 40 fr. ; coke à 53 fr.

M. Létrange, fondeur de cuivre (Seine), (II, 169) paye sa houille 22 à 24 fr. au Havre, et 25 à 26 fr. rendue.

M. Rolland, fabricant de feuilles et tubes à Gisors et à Paris (II, 192), remarque que les Anglais, à Swansea, payent la houille 5 à 6 fr. Pour lui, elle lui coûte 33 fr. la tonne, à Gisors :

Achat	13f »	33 fr.
Fret à Pontoise	10 »	
Droits	1 80	
Transport à l'usine	8 »	
Commission	0 20	

M. Cheilus (II, 367) emploie cokes et charbons belges. Il paye le bon coke 40 fr. et la houille 25 à 27 fr., à Grenelle.

M. Dupuy de Lôme, directeur des constructions navales (II, 382), paye :

à Toulon, charbon français bonne qualité	35 fr.,	anglais, 45 ou 46 fr.
— Rochefort, Aubin et Decazeville	40 fr.,	anglais, 31 fr.
— Lorient, charbon français (accès très-difficile),	45 fr.,	anglais, 30 fr.
— Brest, id.	48 fr.,	anglais, 28 fr.
— Cherbourg, id. et belges,	30 fr.,	anglais, 25 et 26 fr.

D'autre part, M. Spiers (I, 51, 52) remarque qu'en Angleterre, et surtout dans le pays de Galles, presque tous les maîtres de forges sont propriétaires de houillères. La houille de choix maigre (à Cardiff) vaut 5 à 6 sh.

(6 fr. 30 à 7 fr. 56) par tonne sur les lieux d'exploitation; le menu 3 à 4 sh. au moins (3 fr. 78 à 5 fr. 04).

M. Robinson dit qu'il est presque le seul propriétaire de houillères dans le pays de Galles; les autres maîtres de forges qui en exploitent le font par marchés. Il évalue le prix de vente de la houille grasse, première qualité (dans le pays de Galles), gros et fin, sur la mine, à 6 sh. 6 p. (8 fr. 19). Le menu a pour lui même valeur, parce qu'il en fait du coke. Le prix de revient est inférieur de 2 sh. (2 fr. 52).

M. Pinart (Pas-de-Calais), (I, 301) évalue la houille d'Écosse à 4 fr. 40; il s'y ajoute pour lui un fret de 10 fr. par tonne et 4 fr. de transport; en comprenant les droits, etc., le prix total est 20 fr. En Écosse, les usines sont sur la houille et le minerai.

M. Moussette, inspecteur en chef des chemins de fer (I, 349), dit que les houilles du pays de Galles valent 5 sh. (6 fr. 30) à la mine. Le transport varie de 1 à 5 centimes par kilomètre et par tonne, suivant les distances. M. Schneider admet le chiffre de 5 à 6 sh. (6 fr. 30 à 7 fr. 56).

M. Jackson (Sheffield), (I, 421) dit qu'il y a des houilles de 4 à 12 sh. (5 fr. 04 à 15 fr. 12); il emploie pour chauffer celle de 8 à 9 sh. Transport, 0 fr. 05 par tonne.

M. Pétin (Loire), (I, 458) paye la houille de Saint-Étienne de 15 à 18 fr., et évalue la houille anglaise de 4 à 6. Dans une note, il rapporte que la houille anglaise premiere qualit, coûterait 13 fr. à Sheffield (?). Il ajoute que, dans le bassin de la Loire, leur houille leur coûte 18 à 20 fr., soit 19 fr.

M. Jackson, de Saint-Seurin (Gironde), (I, 475) emploie des charbons anglais première qualité, facturés 6 sh. (7 fr. 56) la tonne, à bord, à Newcastle.

M. Debladis (I, 527) exprime que 6 à 7 fr. est le prix du charbon en Angleterre.

M. Budd dit que l'anthracite du pays de Galles vaut 6 sh. la tonne (7 fr. 56), rendue aux usines.

M. Girard, fabricant de ferblanterie à Paris (II, 132), dit que les houilles valent 8 fr. en Angleterre et 30 fr. en France.

M. Létrange, fondeur (Seine), (II, 160) dit que la houille vaut, en France, 20 à 30 fr., suivant les localités : les fondeurs de cuivre anglais, concentrés à Swansea, la payent 4 à 5 fr.

M. Gruner (II, 692) dit que la valeur de la houille, pour le gros, est 6 à 7 sh. les 22 quintaux ou 2,640 livres; de 2 sh. à 2.50 le menu. (7 fr. 56 ou 8.82 et 2.52 à 3 fr. 15, c'est-à-dire : 6 fr. 31 à 7 fr. 37 et 2 fr. 10 à 2 fr. 63 les 1,000 kil.) Les voies de transport dans le Staffordshire sont très-nombreuses et commodes, et le transpsrt ne dépasse guère 2 milles en moyenne des mines aux usines. Donc la houille vaut, rendue, 8 à 9 fr. et 2 fr. 50 la tonne.

La houille de Durham est plus grasse que celle du Staffordshire et du

pays de Galles; on peut l'assimiler à la houille ordinaire du bassin de la Loire. Elle vaut en moyenne, sur les puits, 3 sh. 6 d. à 4 sh. (4 fr. 41 à 5 fr. 04) le tout-venant, et coûte, en moyenne, aux usines, 5 sh. (6 fr. 30). La houille menue ordinaire, pour chaudières, se vend 4 sh. (5 fr. 04), rendue aux forges.

Primitivement cette houille valait, au puits, 1 sh. 6 p. ou 2 sh. (1 fr. 89 ou 2 fr. 52), et les menus ne servaient pas; maintenant on les lave pour en faire du coke.

M. Lan (II, 702) dit que la tonne courte (1,015 kil.) de charbon d'Écosse, avec 3/4 gros, coûte 3 sh. à 3 sh. 1/2 (3 fr. 78 à 4 fr. 41). Le gros, au puits, coûte 4 sh. 2 p. 1/4 (5 fr. 30) la tonne courte. Il faut ajouter 5 p. (0 fr. 52) par tonne de transport pour les principales fonderies d'Écosse. 4 sh. 7 p. à 5 sh. (5 fr. 77 à 6 fr. 30), sont les bonnes conditions ordinaires. Plusieurs usines payent plus.

M. Dumont (I, 74), maître de forges dans le Nord, se sert de houilles belges, qu'il paye de 11 à 14 fr.

M. Martial Leclercq (Nord), (I, 261) paye la houille 11 à 12 fr. dans ses hauts fourneaux de Belgique; à la mine, elle vaut 10 à 11 fr.; à Maubeuge, elle vaut 15 à 16 fr.

M. Pastor (Liége), (I, 640) emploie du charbon, tout-venant, dont le prix d'extraction est 0 fr. 80 à 0 fr. 90 l'hectolitre (de 90 kil.), et 1 fr., prix de vente (11 fr. la tonne). Il ajoute que, il y a quelques années, le charbon en Angleterre valait 2 sh. 3/4 la tonne; en Belgique, il vaut 18 et 20 fr.

Je sors enfin de cette nuée de renseignements, parfois un peu incohérents ou contradictoires, pour tâcher d'en tirer les résultats que je cherche :

Prix de la houille en France. — D'après eux, le prix moyen de la houille, aux mines de France, est de 15 fr. la tonne. Je crois qu'en déduisant des exemples que j'ai cités une moyenne *d'appréciation*, je serai modéré en disant que la houille ne se paye, aux mines, que 12 à 13 fr.

Rendue dans les diverses usines de France, le prix de cette houille serait 33 fr. 10; mais j'observe que onze des témoignages qui concourent à cette moyenne s'appliquent à des industries minutieuses dans lesquelles le combustible, ne constituant pas une aussi grande partie de la dépense que dans la production première, peut impunément se payer plus cher : ces onze exemples, qui donnent ensemble une moyenne de 42 fr. 18, étant isolés, il me reste une moyenne générale de 24 fr. 21 que j'adopte.

Transport moyen de la houille en France. — Il en résulte qu'en France, pour les usines de grande fabrication métallurgique, le transport moyen que subit leur houille est environ 12 fr. la tonne.

27

Prix de la houille en Angleterre [1]. — Pour prix moyen des charbons pris aux usines en Angleterre, j'obtiens, au moyen de trois témoignages seulement, une moyenne de 4 fr. 50. D'autre part, M. Gruner donne pour cette moyenne 6.85 dans l'Ouest et 4 fr. 75 dans le Durham et le N.-E., ensemble, 5 fr. 80. Je prends ce dernier chiffre comme moyenne générale, parce que j'ai lieu de penser, en examinant les dépositions, que quelques-uns jugent trop à un seul point de vue; que d'autres attribuent par erreur aux usines des prix qui sont comptés sur la mine.

Pour les charbons rendus aux usines, seize témoignages me donnent une moyenne de 7 fr. 24. Deux témoignages portés par les couteliers de Sheffield ont une moyenne de 11 fr.50. Ce dire, exagéré peut-être au point de vue de l'industrie première, est balancé largement par les raisons que j'ai énoncées tout à l'heure; aussi je m'en tiens à la moyenne générale de M. Gruner; 7 fr. 40, résultant de 8 fr. 50 dans le S.-O. et 6 fr. 3 au N.-E.

Les charbons écossais peuvent valoir, en moyenne, sur les mines, 4 fr. 25; aux usines, 5 fr. 30.

Prix de la houille anglaise en France. — Pour les charbons anglais rendus en France, la moyenne de leurs prix sur le littoral et les points qui en sont voisins est de 26 fr. 10. La moyenne aux divers points de la France, quelquefois très-avancés dans les terres, où l'on en emploie, est de 40 fr. 42. Il est clair que, dans cette voie-là, on peut aller loin, et il faut se défier de ce chiffre pour des conclusions générales.

Sur le littoral, on peut avoir la houille d'Écosse à 20 fr.

Aux mines, les charbons belges valent en moyenne 10 fr. 75; aux usines, 12 fr. 33. Rendus en France, à une distance peu considérable, ils valent 14 fr. Si j'admets Paris dans cette distance, le prix va jusqu'à 26 fr. 55; je serais tenté de dire 22 fr. 86 en supprimant un chiffre de 45 fr. qui me semble bien fort.

En résumé, aux mines, la France paye le charbon 6 à 7 fr. plus cher que l'Angleterre. Les grandes exploitations, fortement intéressées à économiser le combustible, payent la houille, en France, à leurs usines, 16 fr. 80 plus cher que les usines anglaises. Fidèle à énoncer les dires de l'enquête, je rapporte ce chiffre qui me semble fort : on se souvient que la différence évaluée par M. Westermann était 12 fr. Je ne parle pas de la différence de 4 fr. énoncée par M. Paulin Talabot et qui m'a toujours paru inexplicable...

Quantité de houille employée dans les diverses opérations métallurgiques.— Estimons maintenant la quantité de houille employée dans les diverses opérations métallurgiques :

1. Voir *Complément*, chap. IV.

M. Léon Talabot (I, 28) évalue 6 tonnes de charbon par tonne de fer fini. M. Combes penche pour 5. M. Benoît d'Azy dit que le chiffre se rapproche plus de 8. 6 paraît une moyenne convenable entre les chiffres 5 et 7 que l'on rencontre assez souvent.

M. Leclercq (Nord), (I,262) compte seulement 2 tonnes de houille par tonne de fonte.

M. Pinart (Pas-de-Calais), (I, 301) compte 2 t. 50 et affirme qu'en Angleterre on emploie 3 tonnes. Le Conseil paraît admettre la moyenne de 2 t. 50 de houille par tonne de fonte.

M. Robinson (I, 53) estime qu'il faut, dans le pays de Galles, 2 t. 50 de houille par tonne de fonte d'affinage. Il évalue à 3 tonnes la quantité de houille nécessaire pour convertir en fer une tonne de fonte d'affinage, qui, jointes aux 2 t. 50 nécessaires, d'après lui, pour faire une tonne de fonte, donnent en tout 5 t. 50. Il ajoute que 28 de fonte rendent 20 de fer, et que, pour cette conversion, il faut 36 de houille. Il y a là, pour moi, quelque chose d'incohérent : si le rendement de la fonte est $\frac{20}{28} = \frac{5}{7} = 0.71$ il faut, par tonne de fer, 1 t. 408 de fonte exigeant 2 t. 50 $\times$ 1.41 = 3 t. 525 de houille. Pour en faire du fer, il faut $\frac{36}{20} = 1.80$ de houille, en tout 5 t. 325. D'ailleurs, l'ensemble de tous les autres témoignages m'empêche d'admettre le chiffre de 3 t. pour la conversion, ce qui porterait le total à 6 t. 525. Si, au contraire, on parle de faire *du fer* avec *une* tonne de fonte, la houille employée sera 2 t. 50 $+ 0.714 \times 1.80 =$ 3 t. 78. Malgré ses termes, ce n'est pas là la pensée de M. Robinson, et j'admets le chiffre de 5 t. 325.

M. Peltereau de Villeneuve (I, 142) (Haute-Marne), président de la chambre consultative, établit qu'en général il faut 1,350 kil. de houille pour faire une tonne de fer avec la fonte au coke, et 1,300 kil. avec la fonte au bois. Il compte 1,300 kil. de fonte par tonne de fer. (Cela fait en tout 1,350 kil. + 2 t. 5 $\times$ 1.30 = 4 t. 600 kil.)

M. Pastor (I, 643) admet aussi que, pour une tonne de fer, il faut 1300 kil. de fonte ; mais de 1,500 à 1,800 kil. de coke, qui, à un rendement de 0.70 (640), fait 2,143 kil. à 2,571 kil. de houille ; en moyenne 2,357 kil. et, par tonne de fer fini, 2,357 kil. + 3,250 kil. à 2,571 kil. = 5 t. 607.

Voici donc quatre opinions qui s'accordent deux à deux, mais non pas toutes ensemble. Si j'admets, par analogie à l'opinion de M. Pastor, que MM. Robinson ou de Villeneuve, ou le secrétaire de l'enquête, ont dit quelquefois « houille pour coke, » le chiffre de 4 t. 600 devient 3 t. 25 $+ \frac{1{,}350^{k}}{0.7} =$ 5 t. 18, ce qui met toutes les opinions plus d'accord

Je prendrai 5 t. 60 pour moyenne générale, quoiqu'un peu forte.

Valeur du combustible pour la fonte et le fer. — De tout cela il résulte que la valeur du combustible est :

	En France.	En Angleterre.	Différence.
Pour la fonte au coke..	24f 21 × 2t 50 = 60f 52	7f 40 × 2t 50 = 18f 50	42f »
Pour le fer[1]........	24 21 × 5 60 = 135 57	7 40 × 5 60 = 41 44	94 13

On se rappelle que la dépense de combustible pour la fonte au bois était environ 100 fr.; pour le fer au bois, en tout 230 fr. Donc, dans ce dernier cas, les différences seraient environ 80 fr. pour la fonte au bois et 190 fr. pour le fer fini au bois.

On se rappelle aussi avoir trouvé pour la fonte au coke, en Angleterre et en France, les prix moyens de 70 et 120 fr., pour les fers au coke 210 et 300 fr. Dans ces deux cas, les différences correspondent, à moins de 10 fr. près, aux différences que nous donne le combustible.

Je vais examiner quelques autres éléments importants de la production métallurgique.

MAIN-D'ŒUVRE.

M. Barbezat (I, 389), comme M. Calla (I, 400), accusent la tendance de l'ouvrier français à ne pas vouloir rester spécialisé sur un même genre de travail, ou plutôt sur un même détail de ce genre. L'ouvrier anglais accepte fort bien cette situation, un peu machinale il est vrai, mais qui permet d'atteindre une rare perfection. C'est ainsi, d'après M. Pétin (I, 475), que l'une des causes importantes de la supériorité que l'aciérie de Sheffield a sur les aciéries françaises, est d'avoir des ouvriers formés de père en fils. De plus, d'après M. Baur (II, 97), un ouvrier formé dans une usine en Angleterre ne peut pas aller dans une autre où on lui offre un meilleur prix ; c'est un avantage important pour le maître.

Quant à l'aptitude de l'ouvrier français, tous, M. Wagner, quincaillier à Birmingham (I, 559-763), M. Dollfus, fabricant de toiles peintes à Mulhouse (II, 82), M. Béhic, président des conseils d'administration des Messageries impériales et des forges et chantiers de la Méditerranée (II, 589), reconnaissent qu'elle est au moins égale à celle de l'ouvrier anglais; en même temps l'ouvrier français est bien moins payé, ce qui, dit M. Wagner, est un profit tout clair pour la France, quant aux ouvrages qui exigent de l'adresse. Pour les ouvrages de force, l'ouvrier anglais l'emporte sur l'ouvrier français ; son salaire plus élevé établit une compensation sensiblement complète d'après M. Wagner. M. Béhic croit que les ouvriers de force sont moins payés en Angleterre... Cette opinion m'étonne. M. Flachat (II, 662) pense que la main-d'œuvre en France est loin de le céder en habileté à celle d'Angleterre ni de Belgique. En outre, l'ouvrier français est plus heureux.

1. Voir *Complément*, chap. VI.

On a soulevé sérieusement devant le Conseil la question de savoir si ce n'était pas à cause des prix très-élevés de la main-d'œuvre que beaucoup de fondeurs anglais faisaient venir de l'étranger une forte partie de leurs minerais, tandis qu'ils en avaient à portée... M. Moussette ne veut pas décider cette question. M. Combes incline à n'y voir qu'une conséquence de la qualité très-variable et souvent inférieure des minerais anglais. Tous les renseignements qui précèdent me font regarder cette dernière solution comme la seule admissible.

Je consigne encore cette remarque importante de M. Schneider (II, 590), que la grande supériorité des monteurs anglais tient à ce qu'en France on a changé perpétuellement de modèles, et, souvent, sans motif sérieux. Ensuite, les monteurs anglais arrivent par une longue suite de degrés d'apprentissage. Ceci rentre dans la remarque de M. Calla.

Donc, la main-d'œuvre n'est pas un élément des différences de prix que nous étudions. En même temps il est bon d'arrêter son attention sur deux choses : combien souvent des ouvriers anglais, mieux payés, le rendent en énergie ; ensuite, que les ouvriers français pourront être mis avec succès à tous les travaux quand le besoin s'en fera sentir [1].

TRANSPORTS.

M. Léon Talabot (I, 21) cite l'exemple suivant, pour mettre en lumière, d'une manière très-simple, dit-il, la situation relative de l'Angleterre et de la France au point de vue des transports : En 1858-59, pour une production de 30,000 t. de fer, les usines de Denain (Nord) ont dépensé 1,590,000 fr. en frais de transport. D'ailleurs une forge du pays de Galles, située dans des conditions analogues, pour une même production, n'a dépensé que 73,000 fr.

Cependant cet exemple n'a pas paru tellement simple qu'il n'ait été fortement critiqué dans le cours de l'enquête, et que M. Moussette ne l'ait cru explicable que par un malentendu (I, 362).

D'autre part, M. Émile Péreire cite (I, 210) que les transports de houille sont plus chers en Angleterre qu'en France : en présence de ces différences d'opinions, il faut recourir aux chiffres.

Chiffres et détails sur les transports en France et en Angleterre. — M. Moussette (I, 346), inspecteur principal des chemins de fer, chargé d'une mission spéciale en Angleterre, relativement aux prix de transport, dépose que les tarifs sont plus élevés en Angleterre qu'en France pour les petits parcours jusqu'à 38 kil. ou même 58, et même pour les parcours moyens d'environ 161 kil. Ils sont à peu près les mêmes sur les longs parcours.

1. Voir *Complément*, chap. II, Main-d'œuvre.

En même temps il se passe une foule d'*accords spéciaux* qui abaissent les tarifs au-dessous de ceux de France.

Pour les petites distances le droit est d'un penny par mille ou 0 fr. 064 par kil., mais il est souvent illusoire. En effet, la loi permettant aux compagnies de fixer une « raisonnable somme » hors des tarifs, pour chargement, déchargement, etc., celles-ci se sont livrées, parfois, aux surtaxes les plus fantaisistes. De là des procès, que les compagnies ont gagnés par cette jurisprudence des juges, que le parlement ayant laissé cette porte ouverte, elle pouvait l'être toute grande. Dans les gares de l'intérieur des villes, qui sont très-coûteuses, il y a en outre un pur droit de gare, le droit terminal, en dehors de toute main-d'œuvre, et qui est 1 fr. 87. Mais les compagnies ont appliqué le tarif différentiel au droit terminal lui-même, et l'ont fait décroître en raison inverse des parcours. Les tarifs différentiels et les marchés particuliers sont habituels et admis par l'opinion en Angleterre ; les juges les sanctionnent. Tout ce que les Anglais veulent, c'est que chacun soit traité de même dans les mêmes circonstances.

En somme, et d'après des renseignements certains, M. Moussette affirme que le transport de la houille, du fer, de la fonte, etc., coûte plus cher en Angleterre qu'en France, et la différence est, en moyenne, 50 0/0 du prix français.

Le camionnage est bien plus cher à Londres qu'à Paris. Dans les provinces, en Angleterre, ce sont les expéditeurs ou les destinataires qui s'en chargent.

L'Angleterre, d'après M. Schneider, a sur la France un avantage important dans ce fait, que les voies de fer y pénètrent plus jusqu'au cœur des centres de production ou de consommation, et que les procédés de manipulation des marchandises en gare y sont très-perfectionnés. Le rapport de M. Moussette en offre des exemples intéressants que je ne puis citer. D'ailleurs M. Moussette pense que ces facilités de chargement et de déchargement intéressent plus les compagnies que les expéditeurs, et ne jouent pas un grand rôle dans les prix de revient. En France comme en Angleterre, les expéditeurs et les destinataires peuvent faire ces opérations.

Le délai de livraison des marchandises en Angleterre n'est pas fixé, mais l'abondance du trafic oblige à le rendre aussi court que possible.

Je cite un tableau comparatif, fourni par M. Moussette, sur le transport de la houille en France et en Angleterre :

Distance en kilomètres.	ANGLETERRE. Great-Northern. (1)	Great-Western. (1)	N.-W. et N.-E. (1)	Calédonian. (1)	FRANCE. Nord.	Ouest.	Est.	ORLÉANS. Houille française.	Houille anglaise.	PARIS A LYON ET A LA MÉDITERRANÉE. Bassin d'Alais.	BASSIN DE LA LOIRE. Vers la Méditerranée.	Vers Paris.	Bassin de Blanzy direction Paris, Alsace.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
6	2.30	2.50	1.25	1.05	0.60	0.60	0.50	0.60	0.60	0.40	0.60	0.60	0.40
13	2.60	2.80	1.70	2.05	0.80	1.30	1.05	1.30	1.30	1.00	1.30	1.30	1.00
19	2.80	3.10	2.20	2.80	1.10	1.90	1.15	1.60	1.60	1.50	1.90	1.90	1.50
32	3.50	3.50	3.50	4.00	1.90	2.34	1.90	2.56	2.56	2.50	2.50	3.20	2.50
38	3.75	3.75	3.75	4.50	2.30	2.66	2.30	3.00	3.00	3.00	3.00	3.80	3.00
58	4.80	4.40	4.80	5.65	3.50	4.06	3.50	3.48	3.48	4.60	4.60	5.80	3.00
80	5.40	5.40	5.20	6.60	4.60	5.25	4.80	4.76	4.76	5.00	5.00	6.50	4.00
120	6.00	6.40	6.00	7.90	5.80	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.70	4.80
161	8.00	8.50	8.00	9.20	7.00	7.50	8.05	6.60	7.60	8.00	8.00	8.80	6.40
241	9.65	11.65	9.65	»	9.40	9.64	10.00	8.30	11.00	12.00	12.00	10.50	8.40
322	11.75	14.90	10.50	»	11.90	12.88	12.80	11.00	15.00	12.80	12.80	12.50	11.20
»	»	et 11.75(2)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

(1) Ces prix sont pour les expéditions ordinaires, libres, ou pour les usages domestiques.

Le Great-Northern, dans des circonstances particulières, transporte à un prix de base qui ferait 7 fr. 70 c. par tonne pour 322 kilomètres.

Sur le Great-Western des garanties de recettes annuelles procurent une réduction de 0f,002 à 0f,011 par tonne et par kilomètre. Ainsi pour 322 kilomètres, on peut ne payer que 11 fr. 35 c. par tonne.

Sur le London et North-Western on a transporté exceptionnellement à 322 kilomètres pour 10 fr. 45 c. la tonne.

Le North-Eastern, en faveur des usines, taxe les petits parcours à la base des moyens, et les moyens à la base des grands.

Le Calédonian réduit jusqu'à 30 pour 100 aux expéditeurs qui garantissent des tonnages annuels (15,000 tonnes au moins).

(2) 11 fr. 75 c. au lieu de 14 fr. 90 c., quand l'expéditeur fournit le chargement complet d'un train.

Maintenant, de ce que nous sommes mieux traités que les Anglais pour les transports par chemins de fer, avons-nous lieu d'être entièrement satisfaits? Il ne faut pas l'affirmer : M. Surell (I, 211), directeur de l'exploitation du chemin de fer du Midi et du canal latéral à la Garonne, a fait ce curieux calcul, que si, dès l'abord, le fer avait été dégrevé des 50 fr. environ, par tonne que les chemins de fer réaliseront, à l'avenir, par suite du traité de commerce, on aurait pu construire de 1,000 à 1,200 kilomètres de plus que les 16,000 kilomètres qui composeront le réseau complet. Autrement dit, la dépense serait faite avec une économie de plus de $\frac{1}{16}$ ou de 6, 25 p. 100, ce qui permettrait une économie semblable sur les transports.

Mais les Anglais, dira-t-on, pourraient aussi, et plus que nous, mais par d'autres moyens, économiser sur leurs transports? Je le crois, mais en attendant nous devons user de toutes nos ressources.

Enfin, dira-t-on, tout cela est effet et non cause; les producteurs de fer peuvent-ils, réellement, faire cette réduction sans y perdre?... Pas immédiatement; mais nous verrons telles modifications faciles et justes qui leur permettraient bien plus.

Je ne parle ici que des transports considérés par leur prix d'unité et leurs constantes. Je réserve tout entière la question de la distance moyenne de transport des deux pays, qui fait peser sur la France une immense charge. J'y reviendrai [1].

FRAIS GÉNÉRAUX.

M. Moussette (I, 360) exprime cette opinion très-remarquable que ce ne sont pas le transport et le bas prix de la houille et du minerai qui font seuls le bon marché en Angleterre, mais le système industriel anglais, qui consiste à produire considérablement à l'avance, sans même attendre la consommation, pour diviser les frais généraux, et par suite les diminuer par objet. De sorte que, en Angleterre comme en France, on voit enchérir l'alimentation, la main-d'œuvre, les loyers, et baisser le prix des produits manufacturés, ce qui prouve que l'économie réalisée dans ces fabrications fait plus que compenser le renchérissement des dépenses premières de la vie.

Sans doute ce système exige des capitaux assez importants, et je crois que la situation générale de l'Angleterre, à cet égard, lui donne avantage sur la France. Mais l'observation de M. Moussette n'en est pas moins utile à méditer.

Je rappelle que nos études précédentes ne nous ont pas amené à ranger les minerais et les transports dans les causes d'économie au bénéfice de l'Angleterre.

1. Voir *Complément*, chap. I, Voies de transport.

Plusieurs déposants, et notamment M. Dupuy de Lôme, directeur du matériel et des constructions navales au ministère de la marine (II, 394), s'accordent aussi à assigner une part principale à l'abondante production dans l'économie de plusieurs fabrications anglaises.

OUTILLAGE.

La question de l'outillage sort un peu du cadre spécial que j'ai dû m'imposer; cependant il n'est pas inutile de rappeler ici une remarque de M. Schneider (II, 594) : Il y a en France des établissements qui font les outils aussi parfaits et aussi ingénieux qu'en Angleterre. Peut-être même y a-t-il une certaine recherche d'application générale des outils qui donne aux outils français quelque supériorité pour les usages français. Mais les Anglais ont un certain avantage comme résultat final, c'est qu'ils ont des outils plus spécialisés[1].

Je remarque que cela peut être un élément précieux comme cause et comme effet de la production abondante à bon marché.

ACQUITS-A-CAUTION.

Après comme avant le traité de commerce, les acquits-à-caution fonctionnent de la même manière si leur législation spéciale n'est pas modifiée. Actuellement, tant par suite du bénéfice que la loi leur constitue que par suite des intermédiaires, ils ne paraissent pas dégrever plus de 50 à 60 p. 100 des droits d'entrée pour les producteurs de fer. Plus ces droits diminueront, plus ce tantième de la dépense totale diminuera. Il faut d'ailleurs remarquer que ce bénéfice, pour les vendeurs de fer français, est limité par la quantité des commandes de l'étranger.

Dans le but d'encourager l'exportation, le producteur de fer qui a une commande pour l'étranger reçoit l'autorisation de faire entrer en franchise un poids de fer égal à celui qu'il doit exporter, et qu'il est censé devoir employer pour la commande à exporter : le gouvernement ne tient pas compte du déchet résultant de l'emploi. Mais en général le fabricant aime mieux construire avec son propre fer, et il vend son drawback, directement ou par intermédiaire, à un marchand de fer, qui, alors, fait venir du fer anglais qu'il vendra aisément, pouvant le donner à meilleur marché que le fer français, puisqu'il est entré sans droit. Le bénéfice total de cette opération, réparti entre le producteur, le marchand et le courtier, suivant les conditions de négociation du drawback,

1. Voir *Complément*, chap. II, Main-d'œuvre.

se compose du droit d'entrée total sur le poids du fer qui sera exporté ouvré, augmenté de l'escompte de ce droit entre l'époque de la commande et de l'exportation environ. Il est clair, d'ailleurs, que le fer anglais entrant en franchise vaut, pour le marchand de fer, son prix d'achat en Angleterre, augmenté de tout le prix de transport du fer anglais entre le point d'achat et le magasin de l'acheteur.

Tout ce que je dis du bénéfice résultant de l'acquit-à-caution subsiste quand même l'une ou chacune des parties que j'ai citées partagerait son profit avec un tiers; par exemple, si le marchand de fer vend au-dessous du prix français; si le fabricant fait des avantages à l'étranger pour qui il fabrique, etc.

En somme, voici le fait sur lequel il me semble utile d'insister : Les acquits-à-caution sont une prime à l'exportation. Je les crois nés de cette opinion, poussée souvent fort loin, que toute la prospérité d'un pays se fonde sur la prédominance de ses exportations sur ses importations. Ce n'est pas le lieu d'examiner cette opinion, mais elle est fort discutable.

En outre, l'acquit-à-caution accorde au producteur un bénéfice égal, dès l'abord, au droit dont il l'exempte ; et, en somme, lui fait simplement payer le fer au prix où tout le monde le payerait s'il n'y avait pas de droit (peu importe d'ailleurs que le producteur partage ou non son bénéfice). Donc le droit est un impôt formel porté sur tous les consommateurs : si le droit est motivé par les exigences d'un sage budget, il est vrai de dire que tous les consommateurs en profitent; mais si le droit s'emploie à protéger une classe de producteurs, ceux-là seuls bénéficient au détriment de tous les consommateurs. — Ici je fais ressortir le fait sans le discuter.

Résumé de la deuxième question. — Le prix plus élevé du combustible en France explique la plus grande partie de la différence entre les prix des fers français et anglais. La beaucoup moindre importance de la production française suffit pour expliquer, par l'accroissement proportionnel des frais généraux, le reste de cette différence.

III.

Quels sont les moyens proposés par l'enquête pour rendre possible la lutte entre les deux industries, et y a-t-il des moyens qui permettent la lutte à armes égales?

Bien souvent, la seule réponse à cette question, qui soit proférée dans le compte rendu de l'enquête est celle-ci : « Protection. »

Je ne conteste pas la légitimité de cette demande, pour un certain avenir du moins; ce que je regrette, c'est de ne pas entendre plus souvent des voix s'élever pour proposer des remèdes plus radicaux et plus nobles. Sans doute, on ne pourrait pas proposer de ces remèdes s'il n'en existait pas; mais c'est là un fait que l'on éclaircira tout à l'heure, plus encore, peut-être, par les faits que par les dires de l'enquête.

Je veux citer ici une opinion qui a été émise dans l'enquête, un peu par digression, par M. Pétin (I, 468) : « Il nous semble que tout objet qui « donne beaucoup de main-d'œuvre à la France doit être plus protégé. « Cela est nécessaire pour conserver cette main-d'œuvre à nos natio- « naux. » Sans doute, ce n'est là qu'une théorie, comme l'a fait observer M. Michel Chevalier. Au point de vue de la protection, la main-d'œuvre est un obstacle *comme un autre* qu'il faut protéger de même, à raison de sa grandeur; mais le protéger *plus encore*, c'est admettre qu'une machine fonctionne d'une manière d'autant plus utile, qu'il se perd plus de travail en frottements.

Les faits de l'enquête amènent à conclure qu'une certaine protection est nécessaire à présent. Ne le fût-elle pas plus tard, toujours est-il qu'on ne peut pas modifier, en un instant, tout l'état de choses existant.

Droit qui protégerait actuellement les aciers français. — Pour les aciers, comme on l'a entendu dire à M. Pétin, le droit maximum de 30 p. 100, prévu par le traité, ne serait pas nécessaire pour la protection. Il est vrai que la différence de 20 fr. par 100 kil., qui existe à peu près entre les deux provenances, n'est que 12, 5 p. 100 pour la première catégorie (160 fr. à 180 fr.), et, 28,57 p. 100 des prix de la quatrième catégorie (70 à 90 et au-dessous). Mais il faut 30 p. 100 pour protéger la dernière catégorie; alors les qualités supérieures sont exactement prohibées. Si on prend une moyenne, environ la moitié inférieure des catégories n'est pas protégée. Ce que je dis ici s'applique à la moyenne de nos ports de la Manche ou de l'Océan, pour lesquels les frais de transport moyens de la France et de l'Angleterre sont à peu près les mêmes.

Droit qui protégerait actuellement les fontes françaises. — Pour les fontes, le prix moyen est à peu près 130 fr., le prix anglais 70 fr., dont la différence, 60 fr., est 85, 70 p. 100 du prix anglais. Entre les fontes au coke des deux pays, 70 fr. et 120 fr. ont une différence de 50 fr. qui est environ 0,71 du prix anglais, et 52 p. 100 de 95 fr., sur lequel doivent se calculer les 30 p. 100 de droit d'après l'art. 4 du traité. Il ne faut pas moins pour protéger ce produit dans nos ports. Pour la moyenne de la France, 25 fr. suffiraient, car l'Angleterre aurait un surcroît de transport moyen de 25 fr.

Droit qui protégerait actuellement les fers français. — Nous avons admis, comme prix moyen des fers en France et en Angleterre, 358 fr. et 210 fr.,

dont la différence est 148 fr., c'est-à-dire, sensiblement, 72 p. 100 du prix anglais, et 63 p. 100 du prix de 235 fr., sur lequel le traité base le droit maximum de 30 p. 100. Mais je répète que les moyennes ne donnent pas une protection régulière. Il résulte que 30 p. 100 n'est pas moitié de ce qu'il faudrait pour protéger actuellement nos fers dans nos ports.

La houille, aux mines, vaut, comme nous l'avons vu, 12 fr. en France et 6 fr. en Angleterre. Ici le transport couvre la houille française dans l'intérieur, mais non sur le littoral.

Je m'éloigne des chiffres pour aborder des considérations plus générales :

Ce que l'on pourrait faire, hors des droits, pour protéger les fers français. — Nous avons entendu M. Flachat insister sur la situation déplorable que la loi et l'habitude font à l'extraction du minerai en France. Ce simple exposé portait en lui son conseil. Je rappellerai seulement un chiffre : « Il y a tel hectare de mine, dit M. Flachat, où le minerai paye 5 à 6 fr. par tonne à son propriétaire. » C'est à peu près moitié de la valeur moyenne du minerai, qui est 11 fr. 70. On pourrait, là, réaliser une économie de 12 à 15 fr. par tonne de fonte ! Du reste, nous avons vu cette opinion exprimée d'une manière remarquable par M. Rouher, président du Conseil (II, 681). Sans doute, je ne veux pas donner l'exception pour la règle; mais l'abus, dans une certaine proportion, est presque toujours là.

Ce que pourrait être le prix de la fonte au bois en France. — Pour la production du fer au bois, nous avons entendu aussi M. Flachat dénoncer le vice radical de la centralisation administrative, des adjudications à courte échéance, et le reste. M. Flachat cite que dans le Berry, depuis la protection, le prix du combustible a quadruplé ! Et l'ensemble des réformes qu'il indique pourrait, à son avis, y abaisser le prix de la fonte à 80 fr. (II, 679). Rappelons-nous que M. Hochet compte à peu près la même dépense de 25 à 30 fr., pour amener sur les marchés du littoral les fontes anglaises et les fontes de l'Est. Donc, on verrait sur ces marchés, dans les conditions que j'examine, la moyenne des fontes anglaises de 70 fr. et les fontes de Berry à 80 fr.; cette différence de 10 fr. laisserait encore une supériorité certaine aux fontes françaises au bois à raison de leur qualité. Que serait-ce des fontes anglaises à 100 fr., qui peuvent, seules, leur être un peu comparables?

Etude d'une réduction dans le prix du bois. — On a exprimé cette opinion, qu'en tenant compte des puissances calorifiques du bois et de la houille, le bois serait profitablement vendu au prix de la houille; qu'ainsi la production d'un hectare de forêt étant 4 st. 5 à 5 st., qui équivalent à une tonne de houille, on mettrait 45 à 50 fr. de bois à la tonne de fonte. — Pour ne mettre que 50 fr. de *combustible* à la tonne de fonte (car on n'y

met actuellement que 54 fr. de *bois*), il faudrait d'abord déduire de ces 50 fr. le prix d'exploitation et de carbonisation de 6me de charbon à 3 fr., d'après M. Desforges (I, 283), ce qui fait 18 fr.; reste 1 fr. 77 par stère de bois pour son achat et le transport du charbon à l'usine.

Mais, pour suivre le raisonnement proposé, je remarque que les puissances calorifiques du bois et de la houille, d'après l'Aide-mémoire de M. Claudel, sont, en moyenne et à poids égaux, je pense, 2,800 et 7,500; leur rapport est donc 2,67. De plus, le poids moyen du mètre cube de bois est au moins 0,70; mais je ne puis l'appeler que $0,7 \times \frac{3}{4} = 0,52$ pour tenir compte des vides. Donc, si la houille vaut 12 fr. la tonne, le bois doit valoir $\frac{12 \times 0,5}{2,67} = 2$ fr. 24 le mètre cube; si la houille ne vaut que 7 fr., le même raisonnement met le stère de bois à $\frac{7 \times 0,5}{2,67} = 1$ fr. 31.

Maintenant, si j'applique ce prix à l'exemple de M. Desforges, j'obtiens pour la dépense totale du combustible :

1^{f}·31 × 6^{mc}· × 2st·40 =	. . . . .	18^{f}·864	51^{f}·264.
3 » × 6 =	. . . . .	18 »	
2 40 × 6 =	. . . . .	14 400	

Ce qui diffère peu du résultat désiré. J'ai cité le transport que subit M. Desforges... C'est là une donnée éminemment variable, mais qu'il faut maintenir évidemment dans des limites restreintes.

En tout cas, si le stère de bois vaut 1 fr. 31, le revenu de l'hectare est 1 fr. 31 × 4 st. 75 = 6 fr. 22 ; ce qui, à 2 p. 100, fait 311 fr. le prix de l'hectare. C'est faible...

Pour que le raisonnement proposé amène à peu près au prix de 50 fr. de combustible par tonne de fonte, il faut admettre pour la houille un prix très-inférieur au prix actuel, supposer un bon bois et un faible transport.

Situation du fer au bois si le prix du bois diminuait. — Mais poursuivons ce raisonnement au point de vue du fer au bois. Si le bois n'était plus payé que 1 fr. 31 au lieu de 2 fr. 50 ou 3 fr., l'économie de ce chef, par tonne de fer, serait 1 fr. 19×37 st. = 44 fr. 03, ou 1, 69×37=62 fr. 53; en moyenne, au moins 50 fr. En se rappelant le détail de l'examen sur le prix des fers, on verra qu'une économie de 50 fr. par tonne suffit pour protéger les fers au bois français des produits anglais qui leur sont comparables, dans la moyenne de la France, et pour quelques-uns même sur notre littoral. Je ne parle pas des autres sources d'économie que j'indique ailleurs. Pour les usages qui n'exigent pas des fers de première qualité, le fer au bois français ne peut lutter contre le fer anglais que dans des circonstances très-rares, et que je ne puis présenter comme une espérance.

En général, l'enquête constate que les acheteurs envisagent souvent le bon marché au delà même des limites de leur intérêt bien entendu ; et c'est là pourquoi, d'après M. Sthroll (I, 177), les fontes de Comté ne sont pas protégées par leur qualité exceptionnelle. Mais dans les limites que nous avons envisagées la supériorité deviendrait une protection.

Ce que la houille française est vendue, et ce qu'elle vaut. — J'ai fait le procès du minerai et du bois ; n'y a-t-il rien à dire au sujet de la houille?

M. Mony, directeur des forges de Commentry (I, 162), estime que le charbon vaut 12 fr. sur le carreau de leur mine. Puis (p. 166) il fait cet aveu intéressant, que le prix de revient, tout compris, dépasse fort peu 7 fr. 87, rendu dans leur usine. Encore ce prix est-il regardé comme bien fort par M. Combes. Sans doute, il y a bien des intérêts à sauvegarder dans une vaste exploitation, bien des chances à prévoir; mais 34 p. 100 est un beau denier !

M. Combes exprime l'opinion (I, 166) que 7 fr. 80 est le prix de revient des mines les plus difficiles à exploiter en France. A côté de cela, tous les prix à la fosse que nous avons vus dans l'enquête variaient de 10 à 20 fr., et nous ont amenés à une moyenne de 12 fr. 50. Si on appelle 7 fr. 50 le prix de revient *moyen* à la mine, ce qui n'a rien d'exagéré, on trouve un écart moyen de 5 fr. ou 66,60 p. 100 du prix de revient. L'écart minimum est 33,3 p. 100; au maximum il dépasse aisément 100 p. 100. Accordons toute la latitude désirable aux erreurs d'informations... en fin de compte, il faut repousser tous les chiffres de l'enquête ou voir là un état de choses abusif. Du reste, le chiffre minimum 33 p. 100 est déjà un beau bénéfice appliqué à un objet de vaste consommation et d'utilité capitale.

Enfin, si je rapproche l'opinion de M. Combes, qui est un maximum, de cette appréciation de M. Flachat (II, 674), qu'en moyenne, en France, les actionnaires des charbonnages reçoivent 4 à 5 fr. par tonne, je vois que ce dividende est 56 p. 100.

J'ai entendu un homme grave objecter à ce chiffre de 4 à 5 fr. que les charbonnages français avaient subi des modifications, des changements de main, etc., qui les avaient grevés au point que leur dividende ne dépassait pas 10 p. 100. Je n'ai pas d'opinion personnelle à cet égard. Je ferai seulement remarquer que, si l'allégation était fondée, tous les témoignages de l'enquête sur ce point, donnés souvent par des intéressés au maintien des prix des charbons, énonceraient des chiffres absolument faux et calculés avec une légèreté inexplicable[1].

Je lis dans le numéro de septembre 1861, du *Bentley's Miscellany*, un article statistique très-intéressant sur les houilles françaises, faisant partie d'un travail beaucoup plus vaste, et où je trouve les passages suivants, que je traduis avec précision sans m'astreindre, toutefois, minu-

1. Voir *Complément*, chap. IV.

tieusement à la lettre. «... Dans une pétition présentée au Sénat par les propriétaires des houillères et des canaux, en 1858, ils exposaient ce fait général que la concurrence des chemins de fer, telle qu'elle existait, était de nature à les écraser complétement... « Cependant c'était tout le contraire. » La position des propriétaires de charbons n'avait jamais été si brillante... Les taxes sur le charbon, basées sur le prix au puits, fournissent la preuve d'un renchérissement considérable de ce produit : En 1847, le charbon valait en France, en moyenne (6 sh. 7 d.), 8 fr. 30 la tonne; en 1848 et 49 (8 sh. 10) 11 fr. 13. De 50 à 52, le prix se maintient environ à (7 sh. 10) 9 fr. 87. En 1859 il s'était élevé à 12 fr. 70 (10 sh. 1 d.). Ces chiffres ne sont que des moyennes; comme chiffres extrêmes, je citerai, en 1851, quelques mines du Haut-Rhin, qui vendaient leur charbon *sur place* (1 l. 4 sh.) 30 fr. 25, tandis que dans l'Aveyron il ne coûtait que (4 sh. 4 d.) 5 fr. 45... En somme, dans la période considérée la vente augmenta de 45 p. 100, tandis que le prix s'éleva de 53 p. 100, en même temps que, de l'opinion de tous les ingénieurs français, le prix d'extraction avait diminué... Pendant ces pétitions, la France payait (1 sh. 5 d. 5) 1 fr. 83 d'entrée par tonne sur le charbon étranger nécessaire pour compléter sa consommation. Mais là n'était pas la seule protection : les charbons belges, grands rivaux des charbons du nord de la France, ont un transport de 2 fr. 10 (1 sh. 8) jusqu'à la frontière. Évidemment, si les Belges, qui ont les mêmes mines que le nord de la France, peuvent y vendre leur charbon avec profit, avec une surtaxe de 3 fr. 93, les propriétaires de mines françaises empochent le même profit premier, augmenté de 3 fr. 93...

« Il y a environ deux cinquièmes de la consommation totale que la France doit emprunter à l'étranger. Tant que les possesseurs de mines françaises maintiendront leur production au-dessous des besoins, le prix restera ce qu'il est pour les charbons français comme pour les étrangers. L'intérêt des propriétaires de charbons français est de maintenir cette situation, et on peut supposer sans injustice qu'ils le font avec entente et préméditation, sans quoi, ayant une vente assurée, ils augmenteraient leur production et abaisseraient leurs prix, pour combattre les étrangers et se combattre entre eux... Le fait est que, depuis douze ans, le transport du charbon, par chemins de fer, a baissé de 0 fr. 154 à 0 fr. 078 par tonne et par mille, tandis que son prix de vente a augmenté comme on a vu...

« Sauf pour quelques départements frontières, très-éloignés des charbons de l'intérieur, les charbonnages français sont protégés de la concurrence étrangère par le prix de transport inévitable d'un objet aussi encombrant. Quant à la taxe d'importation qui s'élève par an à (300,000 l.) 7,562,400 fr. elle n'a d'autre effet que de procurer aux possesseurs de charbons français un surcroît de profit de cette valeur...

« C'est dans ces circonstances, avec une production maintenue à des-

sein aux trois cinquièmes des besoins, un prix double du prix anglais, un haut droit protecteur, et d'immenses profits, que les propriétaires des charbons français se plaignaient, en 1858, que le monopole des chemins de fer limitait leur commerce! »

CANAUX.

Ce que devrait être la navigation des canaux. — L'enquête en parle peu, et il n'y a que M. Flachat qui aborde un peu longuement cette intéressante question. D'après lui (II, 674), il est douteux que le gouvernement arrive jamais à la gratuité des canaux; mais il a promis une réduction : Supposons que le droit actuel d'un demi-centime soit réduit de moitié. Comme le prix de halage dans les meilleures conditions, c'est-à-dire dans les bateaux portant 220 tonnes, chargement que permettront nos canaux achevés, est environ de 0 fr. 01, les frais de locomotion s'élèveront à 0 fr. 0125. Or, la houille convenable pour la fabrication du fer ne vaut pas plus de 9 fr. sur le carreau de la mine, et, à ce compte, elle vaudra dans le Berry 14 fr. à l'usine et le coke 22 fr. On brûlera 1,250 kil. de coke par tonne de fonte, et son prix ne différera que de 25 fr. du prix anglais. De la sorte encore, les charbons de Charleroi et de la Moselle peuvent arriver dans le Berry dans des conditions à ne pas dépasser 30 fr. par tonne de fonte, qui, joint à 15 fr. de minerai, donnerait un prix de fabrication qui peut lutter absolument avec la fabrication anglaise.

Nécessité de modifications immédiates. — Mais, ajoute M. Flachat, il faut que ces améliorations se fassent de suite; car, et c'est une remarque générale très-importante, quel capitaliste grave voudrait concourir à un établissement qui, maintenant, ne peut subsister sans une protection de 30 p. 100, qui d'ailleurs doit tomber, et peut être modifiée tous les jours? Cette instabilité est inadmissible pour toute entreprise sérieuse. On ne peut procurer la sécurité qu'en mettant à même, sans retard, de produire dans la condition des prix anglais.

Mais ce système offre deux difficultés : réaliser des capitaux et éviter de préjudicier aux chemins de fer.

Entraves à la formation de sociétés anonymes pour l'exploitation du fer. — A défaut de capitaux personnels suffisants, il faut bien réunir les épargnes privées? Eh bien! personne ne peut dire à quelles conditions peut se former, en France, pour l'exploitation du fer, une société anonyme; forme cependant la plus commode et que le public aime le mieux. Nul code, nulle circulaire, nulle publication n'en précise la manière, et, en présence de ce silence de l'administration, rien ne peut se former (677). D'ailleurs, les producteurs de fer ne peuvent pas s'associer sous la forme

commanditaire; on sait que c'est une forme impossible pour de grands établissements.

Or, voici le résultat désastreux qui pourrait se réaliser : La production de la fonte, en France, aujourd'hui (p. 682), est de 800,000 tonnes, dont 500,000 environ au coke et 300,000 au bois. Hé bien ! l'Angleterre produit environ 3,000,000 de tonnes avec une oscillation de 200,000 à 300,000. Le capital des forges anglaises pourrait faire cette avance, déverser en France, pendant un ou deux ans, ces 300,000 tonnes, et anéantir ainsi notre fabrication. On peut prévenir ce fait si on définit à quelles conditions les capitaux français peuvent s'associer.

Quant au moyen d'éviter le préjudice que la presque gratuité des canaux causerait aux chemins de fer, M. Flachat s'en réfère à une note confidentielle qu'il a présentée, il y a deux ans, à la Compagnie de l'Est. Il démontrait à cette Compagnie comment elle pouvait mettre l'industrie du fer, sur le territoire desservi par son réseau, à même de lutter avec l'industrie étrangère; et, dans ce but, il indiquait les transports qu'il y avait à faire pour amener la houille de Sarrebruck sur le minerai de la Marne et de la Meuse, avec réciprocité. Un tarif de 3 centimes suffisait alors; il ne suffirait plus maintenant. Mais si le Gouvernement donnait la presque gratuité sur les canaux pour la houille et le minerai, le chemin que suivraient cette houille et ce minerai n'ôterait pas un centime de trafic aux chemins de fer; il leur ôterait seulement le transport de la houille pour les autres industries sur les grands marchés.

Comme compensation, le gouvernement pourrait tarifier 2, 3 4 et 5 centimes sur les canaux, toutes les marchandises dont le tarif excède 6, 7 et 8 centimes sur les chemins de fer, de manière que chaque voie eût son genre de transport naturel, et que la concurrence des canaux ne pût pas s'établir sur les marchandises qui, par leur prix, sont dévolues au transport par chemin de fer.

Dans le cas où les voies navigables seraient achevées, ce qui paraît indispensable pour le bas prix de la production du fer en France, et particulièrement dans le cas où elles seraient achevées en vue de porter des embarcations contenant 220 tonnes, elles pourraient effectuer des transports dont les chemins de fer ne pourraient pas se charger même au tarif de 3 centimes.

COURS D'EAU.

M. Flachat émet cette opinion (II, 678), que le moteur peut être évalué 3 à 5 fr. par tonne de fonte environ ; les moteurs hydrauliques pourraient donner cet avantage à la fabrication française : pour cela, il faudrait que le régime des cours d'eau fût amélioré. Actuellement toutes les inondations des cours d'eau sont attribuées aux travaux hydrau-

liques des moteurs, et les usiniers sont obligés de céder devant les poursuites dont ils sont l'objet de la part des propriétaires riverains.

Quelques effets de la protection. — Au risque de me répéter, je vais grouper ici quelques appréciations que je trouve éparses dans l'enquête.

M. Dollfus (II, 82) cite l'exemple d'une filature nouvelle, dans les Vosges, lui ayant acheté ses vieilles machines, qu'il réformait pour un nouvel outillage qui lui a permis de réaliser 7 à 8 p. 100 d'économie. On ne peut pas dire que, dans les dernières années, la filature des Vosges s'outillât de vieilles machines, mais il est certain que les filateurs, qui gagnaient beaucoup d'argent, n'ont pas senti la nécessité de renouveler leur outillage assez fréquemment; ils n'ont pas été assez stimulés. Aujourd'hui M. Dollfus croit qu'ils vont l'être.

M. E. Péreire (I, 206) dit que ce qui peut être le plus avantageux pour les maîtres de forges capables, ayant des usines bien montées, bien établies, c'est d'entrer franchement dans l'abaissement des droits sur les fontes. Voilà le point sur lequel le gouvernement doit porter son attention. Sinon on restera dans l'ornière où l'on était avant le traité... Il y aura de mauvaises usines qui végéteront, qui entraveront les grandes en empêchant, par la cherté, l'extension des grands travaux. Faites baisser le prix du fer, vous ferez disparaître les usines placées dans de mauvaises conditions. Il faut, du reste, qu'elles se liquident un jour ou l'autre, parce que l'industrie française ne peut pas être condamnée à s'alimenter à 30 p. 100 plus cher que l'industrie anglaise. 30 p. 100, c'est beaucoup pour des matières de cet ordre-là. Les grandes usines résisteront à un droit plus réduit... Il faut prendre son parti de la disparition de celles qui n'ont pas de raison d'être.

(II, 396) M. d'Eichtal :... Permettez-moi de le dire, vous êtes, je crois, dans un cercle vicieux : si vous maintenez les prix élevés pour maintenir en même temps l'industrie, vous arrêtez la consommation... Il faudrait examiner s'il n'y aurait pas intérêt à ce que les constructeurs français réduisissent leurs prix de manière à exciter d'abord à la consommation de leurs produits, afin de retrouver ensuite la compensation de leurs sacrifices dans la répartition de leurs frais généraux sur une production plus étendue, ainsi que cela a lieu en Angleterre... On ne tient pas aussi bon compte en France qu'en Angleterre, du côté de la question qui regarde le bon marché. Pourquoi, sur la ligne du Havre à New-York, où nous voyons naviguer tant de bâtiments étrangers, les uns sans subvention, les autres avec une subvention très-faible, ne voyons-nous pas de bâtiments français, malgré la subvention assez considérable que le gouvernement leur offre? Parce que l'instrument nous coûte trop cher.

M. le président (II, 679) fait remarquer que, d'après la plupart des renseignements, le prix de 9 fr. à la mine, indiqué par M. Flachat, pour le menu qui peut être employé à la fabrication du fer, serait trop faible.

M. Flachat : « C'est vrai ; mais je crois l'avoir expliqué en disant qu'au-
« jourd'hui l'extraction houillère tout entière, divisée par le chiffre
« des dividendes distribués, donnait un bénéfice de 4 fr. par tonne. Or,
« je ne crois pas que le chiffre de 4 fr. soit autre chose que le résultat
« de la protection. Mais comme la question houillère n'est nullement
« en discussion, je ne l'ai pas abordée. »

M. le Président (I, 275), répondant à M. Corneau, exprime cette sage pensée : « le Gouvernement n'a pas à sauvegarder que vous ; il doit sauvegarder aussi celui qui vous achète, et vous rendre moins maître vis-à-vis de lui ; car enfin, si vous êtes sauvegardé comme vous le demandez, il résultera que vous pourrez licitement et légitimement, du moment que la loi vous y autorisera, vendre plus cher. »

Je vais encore citer un fait, auquel il a été fait, je crois, allusion dans l'enquête, mais dont j'emprunte les détails à une pétition récemment adressée à la Chambre de commerce de Marseille. Dès le début de son existence, la Compagnie du chemin de fer du Midi sentit que la concurrence des canaux du Midi et de la Garonne était mortelle pour ses transports... Elle réussit à les ruiner. Alors la Compagnie du Midi, poussée, je crois, par le gouvernement, dut acheter ces canaux ; mais peu lui importait ; et, maîtresse du champ de bataille, elle sut y faire des lois dont elle ne pouvait souffrir. Les pétitionnaires citent que les marchandises les moins imposées payent aujourd'hui, de Cette à Bordeaux, par le chemin du Midi, 20 fr. la tonne, et que, par les canaux, et pour le même parcours, le prix serait tout au plus 8 fr. D'ailleurs, voici en regard les tarifs du chemin de fer du Midi et des canaux pour le transport des céréales, ainsi que les prix qui pourraient exister sur ces canaux, s'ils étaient libres et affranchis :

DE CETTE A	CHEMIN DE FER.	CANAL.	CANAL AFFRANCHI.
	la tonne.	la tonne.	la tonne.
Narbonne	7f »	9f 75	» »
Carcassonne	10 40	12 »	» »
Toulouse	17 »	17 »	5f »
Agen	21 »	25 49	7 »
Marmande	21 »	27 20	» »
La Réole	21 »	27 64	» »
Bordeaux	21f »	27 08	10 »

IV.

CONCLUSIONS.

PREMIERS RÉSULTATS DU TRAITÉ DE COMMERCE.

J'ai déjà résumé, à peu près complétement, les améliorations que l'enquête envisage au sujet de la fonte et du fer au bois; ce que peuvent faire les fontes du Berry, toutes peuvent le faire à peu près, car ces fontes sont fort éloignées des ports du nord-ouest.

Quant à la fonte et au fer au coke, il y a encore à dire :

Réduction possible du prix des minerais. — Tout ce qui a été dit des entraves que la loi et l'administration apportent à l'exploitation des minerais, se retrouve ici : nous ne payons pas le minerai plus cher, en moyenne, que l'Angleterre; mais comme les conditions naturelles de nos minerais sont beaucoup meilleures, nous devrions les payer beaucoup moins; il y aurait là une économie sérieuse à réaliser : peut-être 5 à 10 fr. par tonne de fonte. Elle s'applique évidemment à toutes sortes de fontes.

Réduction possible dans le prix de la houille. — Pour les houilles, il serait modéré de dire, d'après toutes les opinions de l'enquête, que la houille propre à la métallurgie ne devrait pas coûter plus de 6 à 7 fr. à la mine. C'est là une économie de 15 fr. par tonne de fonte, et 33 fr. 60 par tonne de fer. Voilà déjà, pour la fonte au coke, la différence devenue 25 fr. au lieu de 50 fr., et, pour le fer, 46 fr. au lieu de 90. Mais il reste toujours ici, à la charge de la France, un bien lourd transport, d'à peu près 12 fr. en moyenne entre la mine et l'usine, tandis qu'en Angleterre il est à peu près 1 fr. 60 (7 fr. 4. — 5 fr. 8). Il en résulte une infériorité de ce chef, de 26 fr. par tonne de fonte et 58 fr. par tonne de fer. La supérorité qu'auront toujours, sans doute, nos frais généraux, ira-t-elle jusqu'à annihiler les économies de minerai et du charbon à la mine? J'en doute : le plus qu'elle fît, je pense, serait de maintenir les différences à 35 et à 60, au lieu de 50 et 90; c'est-à-dire, à peu près, au taux que constitue la différence de transport moyen de la houille.

Moyen de diminuer les transports qui pèsent sur le fer. — Mais cette infériorité, résultant du transport moyen de la houille, que j'accepte comme inévitable dans l'état présent, est-elle radicale? Je ne le crois pas. Pourquoi ce transport moyen? C'est que les usines sont, en moyenne,

loin de la houille. Et ne serait-ce pas du combustible que les usines devraient être, avant tout, rapprochées? Il faudrait que les usines possédassent du combustible et en fussent rapprochées; qu'elles possédassent aussi le minerai, qui, alors, pourrait être éloigné, mais qui ne voyagerait qu'après toutes les préparations possibles pour en réduire le poids inutile. En Angleterre, c'est du combustible avant tout que les forges sont presque toujours rapprochées.

En moyenne, les transports seront toujours plus longs en France qu'en Angleterre. Peut-être la fonte ne gagnerait pas à être près de la houille; peut-être y perdrait-elle, car le poids du minerai à transporter l'emporterait un peu sur celui de la houille, quoique ce poids pût subir, peut-être, des réductions importantes et peu coûteuses. Mais le fer, lui, y gagnerait du tout au tout, et n'aurait plus de différence radicale avec le fer anglais.

Ceci n'est rien moins qu'une solution immédiate; mais je crois que c'est chose utile à se rappeler pour l'avenir.

Et pour préciser encore : Les usines qui subissent un transport de houille au moins comparable au transport moyen, sont dans une situation fâcheuse, qu'il faut éviter, avant tout, pour les usines que l'on construira à l'avenir. Quelques-unes même peuvent être dans des conditions telles, que le fait de leur prospérité soit, dès maintenant, inacceptable. Quant aux usines qui sont près de la houille, si leur gestion est bonne, et si aucune charge particulière ne les accable, grâce au prix actuel des fers, elles font sur leur fer, sinon sur leur fonte, des bénéfices exagérés. *Dès maintenant*, ces usines pourraient vendre à des prix voisins des prix anglais; et si leurs minerais ne sont pas trop chers, elles pourraient vendre aux prix anglais exactement, ou au moins à des prix qui n'exigent *aucune* protection.

But de la protection. — La protection a été établie dans l'intention droite de combler les lacunes réelles, de sauvegarder des intérêts graves, et qui avaient, au début du moins, des besoins véritables.

Effets pratiques de la protection. — En réalité, la protection a servi au profit exagéré de ceux pour qui elle n'était pas faite, et c'est à peine s'il est resté quelques miettes pour les indigents; bien plus, leur indigence n'avait guère d'autre cause que les profits exagérés de plusieurs.

Parfois la protection a maintenu dans une tranquille paresse, loin des efforts et du progrès, ceux qui prétendaient ne pouvoir vivre sans elle.

Voilà ce que l'enquête sur le traité de commerce, relativement aux fers, me paraît dévoiler à tout lecteur attentif.

Et j'en viens à me demander si la protection, dans l'ensemble de son principe au moins, n'est pas une doctrine fausse, née d'un malentendu, de bonne ou de mauvaise foi, et maintenue, surtout, par un intérêt trop égoïste?

Situation réelle de la France vis-à-vis de l'Angleterre. — L'enquête démontre que l'infériorité actuelle de la France vis-à-vis de l'Angleterre, quant à la production de la fonte et du fer, ne gît pas dans une infériorité irrémédiable et trop grande de leurs premiers éléments. Cette infériorité existe quelquefois, mais dans des limites telles, qu'on peut arriver à la vaincre suffisamment sans protection.

Il ne faut rien brusquer, rien violenter, mais il faut voir loyalement le mal où il est et le combattre.

Il ne faut pas oublier que la distance est toujours un élément de protection ineffaçable. On a vu que les frais de transport d'Angleterre en France, aux ports les plus voisins, sont environ, en moyenne, de 25 à 30 fr. Je sais que telle localité d'Angleterre peut être aussi et plus près d'un marché français donné que telle localité de France; mais, en moyenne, cela n'est pas vrai, et on ne peut décider ici que sur une moyenne.

Remarques sur la protection. — En effet, et cette question tient à ce que je viens de dire, on paraît souvent trop peu voir que *toute protection est nécessairement une prohibition, ou à peu près.* Si vous établissez une exacte balance de protection pour la fonte et le fer français, pour un point quelconque du territoire, Paris, par exemple, ils ne sont plus protégés dans tous les marchés plus voisins du littoral. Si on les protége exactement sur tout le littoral, comme on doit le faire en admettant que la protection est une justice, ils sont archiprotégés, c'est-à-dire que les produits analogues anglais sont prohibés à outrance, dans tous les autres points de la France.

Impossible absolument, en pratique, d'établir une protection variable en raison des distances totales entre les localités françaises et anglaises considérées deux à deux. Et cependant ce serait le seul moyen d'échapper à l'excès que je viens d'exposer.

La protection, du moment qu'elle est vraie, est donc toujours excessive; en dehors, complétement, des cas où ses bénéfices sont détournés vers ceux qui n'y avaient aucun droit.

Fût-elle le seul moyen d'empêcher une infériorité funeste à une industrie nationale, la protection sera toujours l'intérêt du consommateur sacrifié à celui du vendeur, c'est-à-dire l'intérêt de la majorité sacrifié à celui de la minorité. Quoiqu'on puisse dire, absolument, que la somme des producteurs en tous genres est égale à la somme des consommateurs, qui n'est autre, à peu près, que la nation; cependant tous les producteurs sont loin d'être protégés, et parmi les producteurs protégés, tous sont loin de l'être également. Donc, au résumé, toute protection est un sacrifice de l'intérêt de la majorité à celui de la minorité. — Je n'ignore pas qu'il y a bien des choses à dire sur les industries que l'on prétend nécessaires à un pays... Mais je suis déjà sorti des limites de cette note.

Des industries secondaires. — Bien que j'aie dû m'interdire de pénétrer dans l'ensemble nombreux de toutes les industries qui tiennnent à la production métallurgique, tout ce que j'ai rapporté à cause d'elle prouve, qu'une fois l'industrie mère ramenée à sa juste valeur, aucune autre n'a de raisons, invincibles sans protection, d'infériorité vitale vis-à-vis de l'Angleterre. Et la preuve que cette infériorité n'existe pas d'elle-même, et au contraire, c'est qu'on remarque en général que l'infériorité résultant des matières premières va en diminuant, à mesure que les industries spéciales y appliquent une plus grande main-d'œuvre, et cela dans une proportion plus rapide que ne le comporte la valeur de cette main-d'œuvre additionnelle. D'où il faut conclure qu'en dehors des matières premières, l'industrie française est plutôt supérieure qu'inférieure à l'industrie anglaise.

Protection que le traité accorde à la France. — Maintenant, quelle est l'étendue de l'infériorité qui existe actuellement entre la France et l'Angleterre, quant au commerce que j'examine ? Je l'ai exposé tout à l'heure. Qu'est-il sorti de l'enquête à ce point de vue ? On l'a appris par le décret du 26 octobre 1860. La fonte paye un droit de 25 fr. la tonne qui s'abaissera à 20 fr. Le fer en barres, etc., 70 fr. qui s'abaisseront à 60 fr. L'acier, 150 fr. qui se réduiront à 130 fr. On sait que la houille et le coke payent une entrée de 0 fr. 15 les 100 kil., plus les 2 décimes, soit 3 fr. 50 (?).

C'est bien au-dessous des chiffres que l'enquête exigeait pour le présent, et on pouvait prévoir l'invasion des produits anglais qui a lieu maintenant. Ici j'énonce un fait sans en juger les causes ni les conséquences.

Mouvement des produits anglais vers la France. — Il peut être intéressant de citer, d'après les annales du commerce de Birmingham, de combien l'importation anglaise en France, durant les six premiers mois de 1861, l'a emporté sur celle des six premiers mois de 1860 : ces détails sont puisés dans le relevé du Board of Trade :

	1860.	1861.
Fontes en gueuses....................	112,206 £	170,846 £
Machines autres qu'à vapeur............	85,611	188,912
Fer en barres...............	30,408	56,576
Rails............................	182	32,084
Houille...........................	303,387	371,393

Je passe les objets étrangers à mon sujet... En tout, la différence de ces importations est celle de 58,000,000 fr. à 76,500,000 fr. ou 32 0/0.

D'après le *Moniteur*, les valeurs déclarées et les droits des marchandises importées dans diverses villes en France, du 1er au 5 octobre courant, par l'Angleterre et la Belgique, ont été :

Droits....................................	909,579 fr.
Valeur des marchandises taxées *ad valorem*.............	4,188,778 fr.

Le commerce anglais est riche et uni ; peut-être a-t-il espéré écraser le nôtre par une émission abondante et à bon marché, pendant un certain temps, due aux sacrifices qu'il peut s'imposer?... J'espère que non... Mais là où l'intérêt est en jeu, l'*amitié* même est un faible rempart.

COMPLÉMENT A L'ÉTUDE

SUR L'ENQUÊTE

RELATIVE A L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE.

Bien que j'aie déjà atteint les limites de l'étude que je m'étais proposé de faire sur l'enquête, je crois devoir lui donner un complément utile, en parlant d'un travail important qui vient de paraître dans les *Annales des Mines* [1].

Sous ce titre : *État présent de la métallurgie en Angleterre*, MM. Gruner et Lan ont réuni tous les matériaux recueillis dans leur voyage en Angleterre, en mai et juin 1860, avec une abondance, une méthode et un esprit de critique que ne pouvait comporter leur déposition devant la Commission d'enquête.

Je ne citerai pas tout ce que présente d'intéressant le travail de MM. Gruner et Lan, il faudrait le transcrire; j'en indiquerai seulement les divisions, en rapportant quelques appréciations et quelques résultats qui m'ont frappé davantage, et qui ont trait à l'étude qui précède.

Si je n'ai pas mêlé ces notes à celles que j'ai prises sur l'enquête, c'est que je n'aurais pas pu, de la sorte, conserver toujours nettement à l'enquête et au travail de MM. Gruner et Lan, leur appréciation individuelle, et que plusieurs points intéressants du second travail ne sont pas abordés dans le premier [2].

CHAPITRE Ier. — VOIES DE TRANSPORT.

Les voies de transport sont plus nombreuses en Angleterre que partout ailleurs... et, de plus, la mer, par sa situation, s'offre souvent

1. 5e Série, t. XIX, 2e livraison 1861, et suivantes.

2. Dans tout ce que je vais citer du travail de MM. Gruner et Lan, j'ai scrupuleusement

comme lien direct entre les grands centres de consommation et de production.

En Angleterre, sans doute, l'État ne fait rien pour les Compagnies, mais « au moins il ne gêne pas leurs travaux comme cela arrive trop « souvent en France » (p. 138).

En outre, le sol est généralement moins accidenté en Angleterre qu'en France.

Pour la houille et les minerais de fer, le fret, par mer, pour une distance qui ne dépasse pas mille kilomètres, est environ *moitié* du fret le plus bas par chemins de fer; il est même le tiers et le quart pour des distances plus grandes. Mais assez souvent la longueur du parcours par mer détruit son économie.

Les procédés de chargement et déchargement en Angleterre sont très-supérieurs à ceux de la France. « On ignore trop encore en France que « *time is money* » (p. 140).

MM. Gruner et Lan (141) présentent un tableau du fret des minerais, houilles, fontes et fers, entre plusieurs ports anglais et plusieurs ports d'Angleterre et de France. En moyenne, ils obtiennent, pour fret total, par tonne :

Houille et minerai de fer. . . .	9 d. à 1 sh.	(0 fr. 95 à 1 fr. 26)
Fonte	2 s. 6 à 3 s.	(3 fr. 15 à 3 fr. 78)
Fer	4 s. à 4 s. 6 d.	(5 fr. 04 à 5 fr. 67)

En remarquant que l'assurance, commission et courtage peuvent s'élever de 3 à 4 p. 100 de la valeur de l'objet transporté, sans compter les frais de chargement et de déchargement, et autres menues dépenses.

Cette moyenne est prise dans des limites trop larges pour que je la croie fort utile. J'aime mieux déduire du tableau dont je parle cette observation, que le fret, par tonne et par kilomètre, de tous les objets cités, et entre tous les points considérés, est presque toujours compris entre 1 et 2 centimes. Il n'y a que pour Marseille que les houilles de Cardiff payent 0 fr. 006, et pour Marseille et Cette, que les fers et fontes de Cardiff et Glascow payent 0 fr. 007 et 0 fr. 008.

En Angleterre, les chemins de fer et canaux *publics* sont établis et régis à peu près comme les nôtres. Les canaux et chemins de fer *privés* ne peuvent s'établir que par l'entente directe et amiable entre les exploitants et les propriétaires fonciers. Cependant, ces voies ne sont pas rares, pour de petites distances de 10 à 15 milles, grâce à la faible division de la propriété; en France, ce serait à peu près impossible.

La rente (*way-leave*) que ces voies privées payent aux propriétaires est souvent exorbitante (142).

suivi leur pensée, et quelquefois même j'en ai conservé la forme. J'ai renoncé à faire un usage constant des guillemets; mais j'ai eu soin de donner, aux quelques remarques qui me sont personnelles, une forme qui les distinguât d'une manière évidente.

« Sur quelques points, les canaux ont été rachetés par les Compa-
« gnies de chemins de fer... Partout, d'ailleurs, la concurrence a nivelé
« les prix... » (143). Je remarque qu'en Angleterre, comme en France, les canaux gênent les chemins de fer, et que ceux-ci cherchent quelquefois à s'en débarrasser, peut-être même au détriment de l'intérêt public.

Les tarifs légalement autorisés sont fort élevés, mais, en réalité, ce sont de simples maxima. Les frets se règlent de gré à gré, suivant les circonstances, et généralement les frets perçus décroissent avec les distances.

MM. Gruner et Lan produisent des tableaux fort étendus, relatifs aux frais de transport, d'où il résulte que, pour des distances de 3 à 4 milles, les frais de transport, pour la houille et les minerais de fer, chargement et déchargement compris, vont, par tonne et par kilomètre, à 0 fr. 30 en moyenne. De 6 kilomètres à 240, ce prix décroît de 0 fr. 20 à 0 fr. 05; plus loin il est évalué à 0 fr. 033.

Ces tarifs sont un peu plus élevés que les tarifs français, sauf sur quelques voies très-fréquentées, telles que la ligne de Stockton à Darlington, où l'on ne paye que 0 fr. 033, pour des distances de moins de 70 kilomètres.

D'après les actes de concession, on pourrait exiger, sur la plupart des lignes françaises, 0 fr. 10 par tonne et par kilomètre, quelle que soit la distance parcourue, chargement et déchargement non compris. Cependant, les grandes lignes ont généralement baissé ce tarif en le faisant décroître en raison inverse des parcours.

Ici (151) MM. Gruner et Lan présentent un tableau que je ne cite pas, parce qu'il répète en grande partie le tableau de M. Moussette.

Enfin, sur la plupart des canaux en France, le fret est notablement inférieur au fret sur les canaux anglais; ainsi, sur les canaux du centre, le fret est maintenant compris de 0 fr. 02 à 0 fr. 025 par tonne et kilomètre.

Chapitre II. — Main-d'oeuvre.

MM. Gruner et Lan résument leurs observations dans cette conclusion remarquable : Dans les prix de revient de la houille, minerai et castine, la main-d'œuvre entre pour 60 à 80 p. 100; et on peut évaluer qu'en Angleterre, la main-d'œuvre forme les trois quarts du prix de revient du fer.

En Angleterre, depuis un quart de siècle, le prix de main-d'œuvre s'est plus élevé pour les manœuvres que pour les ouvriers spéciaux, qui sont plus nombreux qu'ils n'étaient, et par suite moins recherchés.

Le taux de la main-d'œuvre est, à peu près, 25 p. 100 plus élevé en Angleterre qu'en France; le shelling remplace le franc.

L'étendue du marché anglais donne aux usines l'avantage de pouvoir se spécialiser plus que les usines françaises.

Pour des installations mécaniques identiques, très-généralement l'ouvrier français fournit autant de travail que l'ouvrier anglais; mais ce dernier a l'avantage de consentir plus facilement à rester spécialisé. C'est ce que M. Calla exprime nettement dans l'enquête (I, 400), quoique « avec une certaine exagération, » surtout lorsqu'il dit : « ..: c'est là la cause du prix infiniment moindre de la main-d'œuvre en Angleterre, relativement à la France » (p. 156).

D'ailleurs l'ouvrier anglais exagère cette utile tendance; il devient « machine », et est routinier par principe.

Un maître de forges anglais, lui-même, préférait les ouvriers français, qu'il considérait comme plus intelligents, plus vifs et plus faciles à façonner à un travail nouveau.

L'avantage de certains établissements anglais est dû surtout aux installations mécaniques plus parfaites et plus généralisées. Les grandes usines françaises gagnent rapidement du terrain dans cette voie. Dans les mines et les forges notamment, la somme du travail est la même par homme, et le taux de la main-d'œuvre est au moins 15 à 20 p. 100 plus élevé en Angleterre qu'en France.

En examinant l'enquête, j'ai cité cette remarque de M. Schneider (II,594), que les Anglais avaient l'avantage final d'avoir des outils plus spécialisés... Peut-être cette observation ne diffère-t-elle pas beaucoup, au fond, de celle de MM. Gruner et Lan ; et faut-il n'y voir que la même pensée plus ou moins bien servie par l'expression ?

Chapitre III. — Constitution de la propriété foncière, et organisation des sociétés industrielles.

En Angleterre, le sous-sol appartient complétement au propriétaire du sol, qui, parfois, l'exploite lui-même, mais le plus souvent cède cette exploitation à bail temporaire.

Dans ce système, on est libre des mille formalités qu'on a à subir en France ; et si le futur exploitant supporte, comme en France, tous les frais d'exploration, il n'achète ni sol ni concession, et ne craint pas, en cas de succès, d'être dépouillé par un concurrent tardif. Mais aussi, à l'expiration de son bail, « l'amodiataire » anglais laisse toutes ses constructions au landlord, et c'est là ce qui en explique l'extrême provisoire. En outre, si le propriétaire foncier préfère renouveler, et renouvelle généralement bail avec le premier amodiataire, celui-ci, pour ne pas perdre le fruit de ses travaux, doit subir toutes les exigences du landlord, quant à la redevance ou *royalty* qu'il lui paye, et dont la fixation est complétement réservée aux parties intéressées (183). Primitivement,

les royalties étaient très-faibles; aujourd'hui elles sont souvent très-lourdes (160). En outre, les établissements industriels sont soumis à l'income-tax.

A part de rares exceptions, en Angleterre, comme dans le département de la Loire, ce sont les propriétaires du sol et non les exploitants qui ont été enrichis par le travail des mines (183).

De cette appréciation, comme de celles de la page 160, je puis induire qu'en Angleterre comme en France, pour les minières, l'intérêt particulier fait peser assez souvent, sur l'intérêt général, une charge trop lourde.

Quant à l'aménagement des richesses minérales, l'amodiation temporaire est une cause connue de gaspillage.

En somme, quant au *temps présent*, MM. Gruner et Lan donnent la préférence au système anglais, à cause de son extrême aisance. — Pour moi, je suis heureux de le voir échapper aux lisières de la centralisation, qui garrottent souvent plus qu'elles ne soutiennent; mais je crois qu'entre les mains des mêmes hommes il enfanterait des exploitations plus exorbitantes encore de l'intérêt public par l'intérêt privé, que le système français. Je suis loin de défendre en tout le système français; mais si j'aspire à voir respecter tous les droits individuels, je désire qu'ils ne puissent pas oublier librement l'intérêt public.

Généralement, les établissements industriels d'Angleterre sont entre les mains d'un petit nombre d'associés; leur direction y gagne en unité, en énergie et en prévoyance.

Beaucoup de maîtres de forges, dans le pays de Galles et l'Écosse particulièrement, exploitent eux-mêmes le minerai et le combustible; d'autres les achètent aux exploitants.

Si en France on pèche souvent par excès de comptabilité, en Angleterre on pèche souvent par son défaut. On voit, en fin de compte, s'il y a profit ou perte; mais on ne voit guère quelles sont les fabrications spéciales qui donnent le plus de bénéfices ou qui occasionnent des pertes.

L'évaluation des frais généraux varie entre les districts; le plus souvent on n'y fait pas entrer l'intérêt des capitaux engagés. Les établissements qui possèdent des mines ne comptent qu'à prix coûtant la houille ou le minerai qui ne sont pour eux qu'un élément de la fabrication du fer, et reportent tout le bénéfice sur ce dernier. Quand les prix de vente baissent, ces établissements, non-seulement réduisent la main-d'œuvre, s'il se peut, mais suppriment, dans l'exploitation de la houille et du minerai, tous les travaux d'avenir ou préparatoires (*dead-works*) qui ne sont pas indispensables immédiatement. Par là, on peut maintenir l'équilibre entre les prix de revient et les prix de vente, même lorsque ces derniers varient dans des limites assez larges (165).

Voilà un argument puissant à ajouter à ceux que j'ai déduits de l'enquête, pour établir que les forges doivent posséder le minerai et le com-

bustible ; augmentez le nombre des chefs d'économie, vous augmenterez la stabilité, surtout si ces chefs nouveaux offrent le champ d'économie le plus étendu.

Je veux le remarquer aussi : N'est pas maître qui veut de retrancher l'intérêt des capitaux des frais généraux. Celui qui consacre ses capitaux à une exploitation peut agir ainsi, et fera sagement selon moi ; mais celui dont les capitaux insuffisants ont nécessité le concours des tiers, peut être engagé à rémunérer ces capitaux, à ses frais, indépendamment du résultat final. D'ailleurs, selon que l'intérêt des capitaux entrera ou non dans les frais généraux, le chiffre de la rémunération finale, qu'un sage exploitant peut attendre, variera d'autant ; de sorte que ces deux manières de compter, appliquées avec sagesse, doivent revenir au même.

Depuis 1858, les prix de vente ont été fort peu rémunérateurs en Angleterre ; quelques usines même ont perdu. Mais beaucoup de grandes usines ont des produits indirects, tels que la vente de la houille et la location des maisons d'ouvriers, qui leur permettent de traverser les périodes de crise. On rencontre un état de choses analogue en Belgique, pour la vente de la houille, et en France même, il y a des forges au bois qui fabriquent pour mieux vendre leurs bois (167).

Les forges anglaises disposent rarement de capitaux suffisants pour travailler longtemps sans commandes.

Un avantage important de l'Angleterre sur la France, c'est l'abondance des capitaux. Cet avantage se manifeste surtout à cause de la différence de caractère des deux nations : les Anglais entreprennent volontiers là où il y a avantage, dehors comme chez eux. Ils sont persévérants et indépendants, ce qui leur fait garder leurs entreprises pour eux et les leurs, sans en dégager leurs capitaux, en vendant à de grandes associations d'actionnaires. Il se peut bien aussi que les capitaux acquis, ne pouvant être placés en biens-fonds aussi aisément que chez nous, on soit moins tenté de les retirer aux entreprises industrielles.

L'esprit d'entreprise et l'abondance des capitaux ont amené une extrême concurrence qui tend à limiter les bénéfices, qui sont moindres, par tonne, en Angleterre que chez nous. « Sous ce rapport, la France aurait donc l'avantage... » (169). — Pour que j'admisse sans restriction cette opinion de M. Gruner, il faudrait prouver ces deux propositions corrélatives : Que les bénéfices sont insuffisants en Angleterre, et qu'ils ne dépassent jamais, en France, une juste rémunération.

Du reste, les situations industrielles des deux pays, sous ce rapport, tendent à s'équilibrer. C'est le développement de la concurrence intérieure, et non la prévision du traité de commerce qui a amené la baisse sur le prix des fers en 1857 et 1858 (169).

Je suis porté à trouver cette dernière assertion un peu générale, en ce qu'elle paraît méconnaître toutes les autres causes que j'ai citées de l'élévation des prix français.

Chapitre IV. — Houilles.

Depuis 1830, la production de la houille a triplé en Angleterre, et son exportation a sextuplé. Cette exportation, qui dépasse 6,500,000 tonnes, est à peu près le dixième de la production. La France reçoit environ un cinquième de cette exportation.

L'importation totale de la houille, en France, est 6,000,000 de tonnes de houille crue, et sa production de 7,500,000 tonnes, ce qui porte sa consommation à 13,500,000 tonnes.

Relativement à la France, la production anglaise est supérieure dans le rapport de 9 à 1, et la consommation plus élevée dans le rapport de 4,5 à 1 (p. 174).

Mais la grande supériorité de l'Angleterre sur la France réside dans le prix des houilles, qui, sur le carreau de la mine, valent en Angleterre 6 fr. 25 *le gros* (presque exclusivement), tandis qu'en France elles valent environ 12 fr. 60 le *tout venant*. En comparant les qualités identiques, l'écart sur les mines serait plutôt 8 fr. par tonne.

En Angleterre, les prix ont très-peu haussé depuis 1830, tandis qu'en France, le prix moyen sur les mines a augmenté (d'après les comptes rendus de l'administration des mines) de 9 fr. 40 à 12 fr. 60 [1].

L'écart des prix est plus élevé dans les forges, à cause de la différence des frets (175).

M. Gruner écrivait (p. 161) : « Au point de vue de l'aménagement des « richesses minérales, le système des amodiations temporaires est jugé « depuis longtemps. Il favorise le gaspillage. » « C'est là... avec la con- « currence extrême des nombreux exploitants, le facile écoulement des « produits et la grande régularité des dépôts carbonifères, la cause « essentielle du bas prix de la houille en Angleterre, et, par suite, de la « position favorable de ses forges. » (161). « *L'extrême bas prix du com- « bustible* est, en définitive, l'unique secret de la métallurgie anglaise. « Sa supériorité n'est réellement due ni à des procédés d'extraction « mieux entendus, ni à une élaboration plus parfaite des minerais. Elle « réside essentiellement dans *la grandeur* et *l'heureuse situation* de ses « districts houillers (133). »

Ces causes sont certaines ; mais je rappelle et je crois devoir maintenir l'appréciation plus multiple que j'ai fait ressortir des faits de l'enquête. Il faudrait des circonstances bien spéciales, que M. Gruner n'indique pas, pour que ces seules causes pussent procurer toute l'énorme différence qui est constatée. En outre, laquelle des causes indiquées par

1. Notons qu'en Angleterre, où l'exploitation se fait par piliers abandonnés, la valeur du transport dans les mines devrait croître, pour une même extraction, plus rapidement qu'en France.

M. Gruner a pu amener une plus-value de 29 p. 100, pour les houilles françaises, depuis 1830? Il faut que la difficulté d'exploitation se soit étrangement accrue; ou que les mines soient devenues d'une pauvreté extrême? — Non, il y a une autre cause que, d'ailleurs, j'ai fait ressortir de faits nombreux : ou les propriétaires de charbonnages français font en général des bénéfices exagérés [1]; ou une forte partie de leur gain est absorbée par une plus-value factice, due à des changements de mains précédents, à des émissions fictives, ou à toutes autres causes. Et si l'on admettait ce second cas, il me paraîtrait difficile d'établir que c'est le commerce national et l'intérêt public qui doivent subir les conséquences de ces fausses manœuvres, complétement inutiles à l'intérêt du fond, et non pas leurs auteurs, peut-être inhabiles ou imprudents.

En France, les transports coûtent moins par unité de distance, mais les distances sont généralement plus grandes.

En Angleterre, les dépôts houillers occupent à la fois le centre et la circonférence; et, par la mer, les points les plus importants du Royaume-Uni sont en relation directe avec les houillères. En France, les bassins houillers sont presque tous groupés autour du plateau central (p. 175), et se trouvaient, il y a peu d'années, presque inaccessibles aux consommateurs éloignés... « Quoi qu'on fasse pour alléger les transports, on ne « peut changer les distances elles-mêmes; nos usines à fer resteront donc « toujours, au point de vue des combustibles, dans un état d'infériorité « très-marqué » (176).

Je dois passer sous silence, à cause de leur nature moins pratique, des détails pleins d'intérêt sur la production spécifique des houillères anglaises, leur topographie, leur situation légale, leur exploitation.

Au point de vue technique, on exploite mieux en France qu'en Angleterre. En Angleterre, on perd infiniment plus de combustible que dans nos mines, et spécialement la majeure partie du menu. Dans le Staffordshire on a ainsi sacrifié la moitié de la houille, et l'on y perd encore, ainsi qu'en Écosse, au moins le quart (186).

Le prix de revient, en Angleterre, varie de 3 sh. 6 à 5 sh. (4 fr. 40 à 6 fr. 30). Dans quelques mines du Durham, grâce à la faible dureté du charbon, le prix de revient est à peine 3 fr. 50 à 4 fr. En France, quelques mines privilégiées n'ont pas des frais d'extraction plus élevés; mais, en général, on se rapproche plutôt de 7 fr. 50 à 9 fr. La différence serait donc 2 fr. 50 à 3 fr. ou moitié en sus [2]. L'écart est dû, il importe de le rappeler, à la régularité plus grande des couches en Angleterre, et surtout à l'enlèvement plus complet du charbon dans nos mines. Presque toujours aussi

1. Tout à l'heure nous verrons M. Gruner lui-même constater implicitement un bénéfice de 34 pour 100 pour les charbonnages français.

2. Ces prix comprennent souvent, en France, les intérêts d'une partie au moins des capitaux engagés, ce qui n'est pas le cas en Angleterre. (*Note du texte.*)

nos frais généraux sont plus élevés, soit parce que le foncement de nos puits au travers des « *morts-terrains* » est plus coûteux, soit parce que l'irrégularité de nos dépôts abaisse, en général, le produit moyen par puits (187)[1].

Cette différence entre les prix de revient dans les deux contrées, est néanmoins encore fort éloignée de l'écart des prix de vente, qui est parfois 8 fr. pour les qualités identiques. Mais aussi, par suite de la grandeur des débouchés, on peut se contenter souvent, en Angleterre, d'un bénéfice moyen de 1 fr. 25 par tonne, lorsqu'en France et en Belgique il faut arriver à 3 ou 4 fr., pour obtenir, des capitaux engagés, le même taux d'intérêt (187). — Voilà encore une explication qui ne me semble pas indiscutable.

Je ne suivrai pas les auteurs de l'intéressant travail que je parcours dans l'étude de la constitution géologique des bassins houillers. Je relèverai seulement ce fait capital (195) : La France possède les mêmes sortes de houille que l'Angleterre[2]; elles sont identiques tant par leur composition chimique que par leur puissance calorifique ; et cependant les charbons français sont d'un emploi moins facile, parce qu'ils sont plus friables et donnent une proportion plus considérable de mâchefer. Souvent aussi, ils sont *moins propres*, c'est-à-dire contiennent naturellement plus de cendres et de schistes.

La plus grande friabilité doit tenir à ce que les couches françaises sont plus fortement comprimées et redressées, et que le mode d'exploitation favorise moins la conservation du gros (195). C'est la plus grande fusibilité des cendres des charbons français qui augmente la proportion de mâchefer. Et cette fusibilité est due à ce que les roches et les argiles des mines anglaises sont très-réfractaires, tandis que celles des mines françaises le sont beaucoup moins.

Chapitre V. — Minerais de fer.

Je dois encore passer rapidement au milieu de beaucoup de détails très-curieux, techniques et statistiques.

En Angleterre, le rendement moyen des minerais crus dépasse rarement 35 p. 100, tandis qu'il ressort en France à 38 p. 100 après lavage (201).

1. N'oublions pas que M. Gruner a admis, tout à l'heure, un prix moyen en France de 12 fr. 60 sur la mine. Si le prix de revient est 8 fr. 25, la différence, 4 fr. 35, en forme les 34 pour 100.

2. Si ce n'est, en proportion moindre, les charbons secs à longue flamme, avantage évident, puisque leur pouvoir calorifique est faible, et que le menu de ces charbons est d'un emploi difficile.

Il faut remarquer que la supériorité incontestable de certaines provenances (Pontypool, Blœnavon, Lowmoor, etc.) est due principalement aux soins de fabrication et à la qualité de la houille, et non à la qualité supérieure des minerais. C'est du moins l'opinion des directeurs de ces usines et des auteurs du *Geological-Survey* (207).

En France, les minerais de mines payent une redevance à l'État de 0 fr. 20 à 0,25 par tonne au plus. Les minerais de minières payent en moyenne aux propriétaires du sol 1 fr. 75 par tonne de minerais préparés. C'est à peu près ce qu'on paye pour minerais bruts dans le Staffordshire et en Écosse. Le pays de Galles et le Cleveland sont mieux partagés, et doivent être comparés aux usines qui, en France, exploitent des minerais de mines (229).

En recherchant les prix moyens des minerais anglais et français, MM. Gruner et Lan citent beaucoup de documents qu'ils résument ainsi : Le prix moyen de la tonne de minerai, en Angleterre, aux mines, est 11 fr. 65, et l'écart total de 3 fr. 75 à 18 fr. 50. Dans les usines les plus rapprochées, le prix moyen est 15 fr. 10. La valeur du minerai, par tonne de fonte, quand on ne se sert pas des scories de forge[1], est en moyenne 36 fr. 80. — Pour la France, en se basant sur les documents fournis par les ingénieurs des mines, pour 1858, ces messieurs calculent un prix moyen des minerais lavés, et sur le carreau des mines, de 7 fr. 07. Aux usines, le prix serait environ 9 fr. 75, et la dépense par tonne serait de 25 à 30 fr. En résumé, la France aurait sur l'Angleterre, quant aux minerais, un avantage de 3 à 4 fr. la tonne, et près de 10 fr. par tonne de fonte (227).

Je ne rechercherai pas le motif de la différence qui existe entre ces appréciations, et celles que j'ai déduites de l'enquête ; ce serait d'ailleurs difficile. Je ne me fais pas le champion de l'enquête, aux dires de laquelle il faut se garder d'attacher toujours une importance absolue ; mais je dois faire les remarques suivantes :

MM. Gruner et Lan (226) citent, d'après l'enquête, plusieurs prix de minerais français. Il y en a deux que je n'ai pas cités : « M. de Wendel déclare que le minerai d'Ayange ne lui coûte que 3 fr. 50 (I, 68) ; M. Voruz, de Nantes, qu'au haut fourneau de la Jahotière le minerai du pays revient à 4 fr. (I, 368). » (226)

Il est indispensable de compléter ces renseignements : M. de Wendel n'emploie ces minerais à 4 fr. que pour sa fonte au coke. Pour sa fonte au bois il emploie des minerais d'Aumetz et d'Audun, qui lui coûtent 16 à 18 fr. la tonne, et peu de minerai de Nassau à 50 fr. — M. Voruz, comme je l'ai expliqué à propos de la fonte, n'emploie en minerais à 4 fr. que les cinq douzièmes de sa dépense totale en minerais ; les sept douzièmes de cette dépense sont représentés en minerais d'Espagne à 30 fr.

1. Mais on s'en sert souvent (p. 199).

— Je pense que ces messieurs n'augmentent pas ainsi leur dépense sans nécessité?

En tout cas, si la France est mieux partagée, quant aux minerais, que l'enquête ne m'a paru le dire, cela fortifie la thèse que j'ai développée à la fin de ma note.

Je crois pouvoir m'étonner que dans un pays où fleurit le système de l'amodiation temporaire, les minerais de fer vaillent, sur la mine, 4 fr. 58 de plus qu'en France.

Il est clair que les minerais dont M. Gruner établit le rendement à 35 p. 100 au plus ne sont pas ceux dont il cite les prix; car le prix de 36 fr. 80 par tonne de fonte donne un rendement de 0,41.

Je crois utile de discuter ici quelques données que j'ai pu recueillir, relatives aux minerais de fer de France et d'Angleterre.

Dans le tome de 1859, rendant compte de 1858, les auteurs du *Geological-Survey* donnent, sur la production des minerais de fer dans les îles Britanniques, des chiffres qu'ils regardent comme extrêmement exacts: la production des minerais de fer avait été 8,040,959 tonnes. Leur *valeur*, apparemment sur la mine, était de 64,802,230 fr.: donc, en moyenne, 8 fr. 06 la tonne. D'ailleurs, la production de fonte avait été 3,456,064 tonnes, à raison d'un prix moyen de 3 l. (75 fr. 62) au fourneau, et 3 l. 2 sh. (78 fr. 14) sur le marché.

. Le tome de 1857 rapporte, pour 1856, les productions suivantes: Minerais de fer, 10,483,309 tonnes (p. 49). Valeur de ces minerais, d'après une moyenne résultant des ventes dans tous les districts, 143,580,104 f., ce qui fait 13 fr. 76 la tonne. D'ailleurs, la production de la fonte était 3,636,377 tonnes, à un prix de vente moyen de 4 livres.

Il faut admettre, quoique le *Geological-Survey* ne l'explique aucunement, que les deux valeurs qu'il établit ici, si elles sont toutes deux des prix de vente, ont lieu, l'une sur la mine, l'autre dans les marchés, sans quoi ces résultats seraient inconciliables. En tout cas, je vois une différence grave entre les résultats du *Geological-Survey* et ceux de M. Gruner. — Si le chiffre de 8 fr. 06 est exact, je n'ai plus à m'étonner des 4 fr. 58 que je remarquais tout à l'heure.

Je trouve encore, dans le tome de 1859 du *Geological-Survey*, les résultats suivants :

NOMS DES COMTÉS.	PRODUCTION de minerais de fer en tonnes.	VALEUR à la mine.	QUANTITÉ employée sur place ou très-près.	QUANTITÉ envoyée au loin.	QUANTITÉ envoyée à l'étranger.	HOUILLE produite par chaque comté.
	tonn.	liv.	tonn.	tonn.	tonn.	tonn.
Cornwall	55,150	19,988 — 14 01	....	4,420	....	....
Devonshire	4,754	2,257 — 7 09	....	1,329	....	
Somersetshire	26,041	13,020 — 14 »	....	707	....	1,125,250
Gloucestershire	107,652	48,443 — 8 »	56,712	50,940	....	
Wiltshire	9,822	4,665 — 9 »	....	....	....	....
Hampshire	6,933	2,876 — 18 »	....	....	....	....
Northamptonshire, etc	140,485	35,121 — 5 »	....	57,158	....	....
Warwickshire	29,500	11,060	....	....	....	....
Oxfordshire (1)	....	....	....	....	....	....
Staffordshire-North	699,947	244,978	....	349,947	....	1,725,000
— -South	959,000	330,650	....	....	....	4,955,780
Shropshire	150,500	38,135	....	....	....	749,360
Derbyshire	328,950	82,237	....	....	....	4,710,750
Yorkshire	1,557,145	255,364 — 18 00	....	202,999	....	8,302,150
Northumberland et Durham	20,924	9,416 — 0 06	employés dans le comté.	....	....	15,853,484
Cumberland	348,638	187,478 — 6 00	84,342	264,078	218	920,137
Lancashire	438,546	230,236 — 13 00	1,950	436,596	....	8,050,000
Wales-North	88,575	45,980	....	....	....	1,022,500
— -South	752,231	257,395 — 14 00	....	....	....	7,495,289
Scotland	2,312,000	750,000	....	....	....	8,926,249
Ireland	3,600	1,170	....	....	....	120,750
Isle of Man	566	226 — 9 00	....	....	....	....
Totaux	8,040,959	2,570,701 — 15 10		1,868,174		

(1) 1200 tonnes exploitées.

Si je considère ces renseignements comme complets, il en résulte qu'il n'y a que 17 p. 100 des minerais de fer anglais traités hors des comtés qui les produisent.

En outre, sans s'arrêter aux comtés qui produisent des minerais sans produire en même temps de houille, il est à remarquer que presque tous les comtés houillers qui exportent des minerais ne pourraient pas les traiter tous avec la houille qu'ils possèdent; et qu'ils exportent à peu près la quantité nécessaire pour rétablir la proportion manufacturière entre leurs produits naturels. Je fais cette remarque sans en conclure que ce soit là la cause du mouvement des minerais.

D'ailleurs, les renseignements fournis par le *Geological-Survey* sont loin de présenter la méthode et la précision nécessaires pour conclure directement, du mouvement des minerais joint aux prix de transport, la différence entre le prix réel des minerais anglais et leur prix sur la mine. Si l'on voit la provenance des minerais, les quantités déplacées, et même la direction qu'ils suivent au départ, les lieux de destination ne sont presque jamais indiqués. En outre, les exportations et les importations étrangères restent dans un entier oubli. Il résulte aussi de tout cela qu'on ne peut pas conclure, des chiffres du *Geological-Survey*, que la quantité de minerais, par tonne de fonte, en Angleterre, soit 2 tonnes,326.

Cette dernière opinion est celle de M. Gruner (199), qui dit encore : « ... Il est vrai qu'aux 8,040,959 tonnes, il faut ajouter les minerais ve-« nant de l'étranger (de l'Espagne surtout), dont le poids est d'environ « 50,000 tonnes. De plus, il importe de remarquer que dans plusieurs dis-« tricts, les scories de forge retournent sans cesse intégralement au haut « fourneau, et qu'ainsi une partie notable du fer sert plus d'une fois, dans « la même année, à la fabrication de la fonte. »

Je n'ai pas pu avoir le chiffre de l'exportation des minerais de fer en Angleterre. M. Gruner dit seulement (p. 200) que l'Angleterre exporte « très-peu de minerais de fer. » — Le *Tableau général du commerce de la France*, pour 1858, constate que la France recevait de l'Angleterre 1,340,992 kil. de minerais de fer.

Je trouve encore dans le *Tableau général du commerce de la France*, pour 1858, que la France a importé 153,979 tonnes environ de minerais de fer, et en a exporté 30,595 tonnes environ. D'ailleurs, les relevés statistiques des ingénieurs des mines donnent, pour 1858, 3,933,191 tonnes, comme produit de toutes les mines et minières de fer en France. En outre, pour la même année 1858, la même source accuse 1,003,760 tonnes de fonte produite.

Sur tous ces renseignements, je vais essayer une étude comparative, qui est loin de prétendre à une rigueur absolue, mais que, cependant, je ne crois pas inutile. — Je m'aiderai des chiffres de M. Gruner, sans m'arrêter à leur désaccord avec ceux du *Geological-Survey :*

Je remarque que la France importe près de 4 p. 100 (0,0379) des minerais de fer qu'elle emploie. Si d'ailleurs j'admets en compensation la faible quantité de minerais que l'Angleterre exporte, et les scories qu'elle utilise particulièrement, je laisserai de côté ces deux éléments, et je remarquerai que l'Angleterre importe 6 1/3 p. 1000 (0,0063) environ des minerais de fer qu'elle traite. — Si, m'aidant de l'évaluation des frets, que j'ai citée plus haut, j'admets que les minerais importés en Angleterre subissent un transport moyen de 1,500 kilomètres, et ceux importés en France de 1,200 kilomètres, j'ai une plus-value, par tonne, de 1,500 × 0,02 = 30 fr. pour les minerais importés en Angleterre, et 24 fr. pour les minerais importés en France. En outre, les minerais déplacés en Angleterre peuvent être regardés comme soumis à un transport moyen de 200 kilomètres, à 0 fr. 05, soit 10 fr. Mes évaluations de distance me semblent assez larges, et, d'ailleurs, empreintes d'une incertitude suffisante, pour que je puisse laisser de côté, de part et d'autre, les frais de chargement et déchargement, et autres menus frais. J'admets, pour les minerais étrangers, un prix uniforme de 8 fr. à la mine. Pour la France, je néglige le mouvement des minerais à l'intérieur, qui existe cependant, mais que je ne connais pas, et que je crois faible. — Maintenant je puis écrire les résultats suivants :

ANGLETERRE.		FRANCE.	
6,672,785 × 15,10 =	100,759,053f	3,902,596t × 9,75 =	38,050,311f
1,368,174 × (11,65 + 10f) =	29,620,067	153,979 × (8 + 24) =	4,927,328
50,000 × (8,00 + 30) =	1,900,000		
8,090,959t	132,280,020f	4,056,575t	42,977,639f
$\frac{132,280,020}{8,090,959}$ = 16f849	soit 16f35	$\frac{42,977,639}{4,056,575}$ = 10,594	soit 10f60

Ces résultats approchent assez des chiffres de M. Gruner, pour que je puisse m'en contenter pour le but que je poursuis ; d'autant plus qu'il faudrait des variations considérables dans les éléments incertains, pour produire, dans les moyennes, des variations légères.

Je conclus de ces résultats : 1° Le mouvement des minerais à l'intérieur contribue *peu* au prix plus élevé des minerais en Angleterre qu'en France.

En effet, si j'estime *largement* la plus-value résultant, pour l'Angleterre, du mouvement des minerais à l'intérieur et de l'importation, je trouve que cette plus-value est 0,113 de la valeur totale des minerais :

$$\frac{1,368,174 \times 10 + 50,000 \times (38 - 11,65)}{132,280,020} = 0,113$$

Si, pour la France, j'estime *strictement* [1] la plus-value résultant des

1. Car je néglige le mouvement à l'intérieur.

mêmes chefs, je trouve qu'elle est 0,089 de la valeur totale des minerais :

$$\frac{153,979\,(32 - 7,07) = 3,838,696}{42,977,639} = 0,089.$$

Or, ces deux fractions diffèrent peu, car si je suppose que la plus-value considérée soit dans la même proportion en France qu'en Angleterre, j'obtiens seulement une augmentation de 0 fr. 25 sur le prix moyen français :

$$\frac{42,977,639 - 3,838,696 + (4,856,473 = 42,977,639 \times 0,113)}{4,056,575} = 10\text{ fr. }84$$

2° La plus-value des minerais en Angleterre est due, en *très-grande partie*, à ce que les minerais sont plus chers *sur la mine* en Angleterre qu'en France.

Car, si je suppose le *même prix sur la mine* en Angleterre qu'en France, toutes les autres conditions restant les mêmes, j'obtiens, pour l'Angleterre, un prix moyen de 11 fr. 79 :

$$\frac{132,280,020\text{ fr.} - (36,827,592\text{ f.} = 8,040,959\text{t.} \times (11\text{ fr.}65 - 7\text{ f.}07)}{8,090,959\text{ t.}} = 11\text{ f. }79$$

3° La différence de 1 fr. 20 qui subsiste alors entre les prix moyens des minerais en France et en Angleterre, est due en partie au mouvement intérieur, et en partie à ce que *la distance moyenne des mines aux usines rapprochées* est plus grande en Angleterre qu'en France. — J'ai établi précédemment que cette circonstance, loin d'être regrettable, devait être recherchée à l'avenir en France, en tant qu'elle résulterait de ce fait que les usines fussent, avant tout, rapprochées du combustible.

4° Il ne faut pas compter que la différence actuelle du prix moyen des minerais de fer, en France et en Angleterre, subsiste d'une manière notable; car une faible partie seulement de cette différence est due à une cause que je crois radicale, le mouvement des minerais à l'intérieur de l'Angleterre. La plus grande partie de cette différence résulte d'un prix beaucoup plus haut, sur la mine, en Angleterre qu'en France ; et cette cause ne me paraît rien moins que radicale et immuable.

Si le prix moyen des minerais, sur la mine, en Angleterre, est 8 fr. 06, la grande différence de prix, sur la mine, en France et en Angleterre, tombe avec le renseignement inexact qui l'a fait supposer. Si 8 fr. 06 était un prix de revient, et 11 fr. 65 un prix de vente, la grande différence qui les sépare serait très-exposée à la critique, et rien ne serait moins étonnant que de la voir bientôt et largement diminuer.

En tout cas, d'après M. Gruner lui-même, ce prix moyen résulte de chiffres qui varient dans des limites très-larges, en sorte que beaucoup d'usines anglaises se trouvent dans des conditions très-différentes de celles que nous considérons en général.

Chapitre VI.

De toutes les considérations intéressantes que renferme ce chapitre, sur l'état passé et présent des méthodes de fabrication, je retiendrai seulement cette conclusion, que la France n'a pas à apprendre, à cet égard, de l'Angleterre. Vers 1830, on employait en Angleterre, par tonne de gros fer marchand, de 10 à 12 tonnes de houille, et au moins 1350 kil. de fonte. Maintenant on ne dépasse pas 5 t. 5 à 7 t. 5 de houille. En France, vers 1830, on employait, par tonne de gros fer marchand, plus de 1,700 kil. de fonte et plus de 26 tonnes de houille! Maintenant, on consomme environ 1,260 kil. de fonte et 4 t. 50 à 5 t. de houille.

Cet avantage tient à ce que les Français utilisent mieux les gaz et les flammes perdus.

Si les forges françaises ne le cèdent pas aux forges anglaises en outillage et en rendement, la fabrication anglaise est plus spécialisée par forge, ce qui est un avantage au point de vue des frais généraux. De la proximité de la mer résulte, pour l'Angleterre, la grandeur du marché, et par suite, la possibilité de rouler à plein travail et de se contenter d'un bénéfice minime par tonne (237).

Mais je redis toujours que ce ne sont pas là les seules causes de la situation.

Jusqu'ici [1] la première et la deuxième partie du travail de MM. Gruner et Lan ont seules paru; mais on peut juger d'après les apparences, comme d'après l'examen de la deuxième partie, que la première partie renferme seule des matériaux relatifs à l'étude générale que j'ai abordée, et que les dernières parties entrent dans un examen théorique et pratique de la fabrication, tout à fait en dehors de mon sujet.

Voici d'ailleurs les titres des quatre dernières parties :

2e partie. Fabrication de la fonte.
3e — Affinage de la fonte et fabrication des fers marchands.
4e — Fabrication des fers profilés et spéciaux.
5e — Fabrication de l'acier.

1. Février 1862.

PARIS. — P.-A. BOURDIER ET Cie, RUE MAZARINE, 30,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE, DÉCEMBRE 1862)

N° 20

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Pompes à incendie* (voir le résumé de la séance du 3 octobre, page 435).

2° *Fabrication du savon par un procédé rationnel*, par M. Émile Barrault, (voir le résumé de la séance du 3 octobre, page 436).

3° *Voies de chemins de fer du sytème Barberot* (voir le résumé des séances des 3 et 17 octobre, pages 438 et 448).

4° *Destruction de la culée droite du pont d'Asséca*, par M. Yert (voir le résumé de la séance du 3 octobre, page 441).

5° *Décintrement au moyen du sable*, par M. Beaudemoulin, ingénieur en chef des ponts et chaussées (voir le résumé de la séance du 17 octobre, page 444).

6° *Diminution dans les frais de transport par l'application de la traction à vapeur sur le sol des routes ou sur voies ferrées au niveau des chaussées*, par M. Delonchant (voir le résumé de la séance du 17 octobre, page 446).

7° *Mort de M. Jeanneney* (voir le résumé de la séance du 7 novembre, page 455).

8° *Matières tinctoriales rouge et jaune, provenant de Montevidéo,* par M. Weil (voir le résumé de la séance du 7 novembre, page 455).

9° *Bitume de Cuba,* par M. Weil (voir le résumé de la séance du 7 novembre, page 457).

10° *Huiles de pétrole,* par M. Weil (voir le résumé de la séance du 7 novembre, page 458).

11° *Bielles en acier fondu de la machine Borsig* (voir le résumé de la séance du 21 novembre, page 459).

12° *Fabrication de l'acier par le procédé Bessemer* (voir le résumé de la séance du 21 novembre, page 461).

13° *Mort de MM. Degousée et Mouillard* (voir le résumé de la séance du 5 décembre, page 466).

14° *Carbonisation des bois* (voir le résumé de la séance du 5 novembre, page 466).

15° *Situation financière de la Société* (voir le résumé de la séance du 19 décembre, page 474).

16° *Élections des membres du bureau et du comité* (voir le résumé de la séance du 19 décembre, page 475).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° Un exemplaire de l'Annuaire de la Société *des Anciens élèves des Écoles impériales des Arts et Métiers.*

2° De M. Noblet, les numéros de juillet, août, septembre et octobre de la *Revue universelle des Mines et de la Métallurgie*, et les numéros de décembre 1861, janvier, février, mars et avril 1862, du *Portefeuille de John Cockerill.*

3° De M. Delonchant, membre de la Société, un Mémoire sur *la diminution à opérer dans les frais de transport par l'application de la traction à vapeur sur les routes.*

4° De M. Burel, membre de la Société, les numéros du journal *la Célébrité.*

5° Les numéros de juillet, août, septembre et octobre du bulletin de *la Société d'Encouragement.*

6° Les numéros d'août, septembre, octobre et novembre des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.*

7° De M. Desnos, membre de la Société, les numéros d'octobre, novembre et décembre de son journal *le Brevet d'invention.*

8° De M. Delesse, ingénieur des mines, un extrait du Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture, sur sa *Carte agronomique des environs de Paris*, et un exemplaire d'un extrait des Bulletins de la Société géologique de France sur ses *deux cartes géologiques et hydrologiques de la ville de Paris.*

9° Le numéro de juillet de l'*Institution of Méchanical Engineers.*

10° Les numéros de juillet, août, septembre et octobre des *Annales télégraphiques.*

11° Le numéro de juillet et août du Bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'Agriculture.*

12° De M. Jordan, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur la *Fabrication des fontes d'hématite*, et un exemplaire d'une notice sur les *Procédés volumétriques de dosage du zinc, et d'essai de ses minerais et de ses alliages.*

13° Le numéro de mai et juin des *Annales des ponts et chaussées.*

14° La 3e livraison de 1862 des *Annales des mines.*

15° Du Ministère des travaux publics, un nouveau volume des *Travaux de la Commission française sur l'industrie des nations, pour l'Exposition universelle de* 1851.

16° Le numéro de novembre du Bulletin de la *Société industrielle d'Amiens.*

17° De M. Alexis Barrault, membre de la Société, une note et un dessin sur les *Foyers fumivores* (système Tenbrinck), et un exemplaire d'un *Avant-projet de chemin de fer par le Simphon*, présenté par M. Jacquemin, ingénieur.

18° De M. Oppermann, les numéros d'octobre, novembre et décembre du *Portefeuille économique des machines*, et des *Nouvelles annales de la construction.*

19° De M. Émile Leclerc, membre de la Société, une note sur le *Gisement et le traitement des minerais de soufre natif en Espagne.*

20° De M. Revin, membre de la Société, une note sur les *Ressorts à boudin.*

21° Les numéros d'octobre, novembre et décembre du Bulletin de la *Presse scientifique des Deux Mondes.*

22° De M. Brialmont, membre de la Société, une notice descriptive avec dessins sur un *Nouveau genre de propulseur pour bateau à vapeur.*

23° Du Ministère des travaux publics de Belgique, un exemplaire du *Compte rendu des opérations du chemin de fer de l'État belge pendant l'année* 1861.

24° Les numéros de mai, juin, juillet et août de la *Revue des ingénieurs autrichiens.*

25° De M. Weil, membre de la Société : 1° un mémoire sur deux *Nouvelles matières tinctoriales rouge et jaune, provenant de Montevidéo ;* 2° une note sur les *Bitumes de Kuba ;* 3° une note sur les *Huiles de pétrole de la Pensylvanie.*

26° De M. Armengaud aîné, membre de la Société, un exemplaire de son *Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur.*

27° Les numéros d'octobre, novembre et décembre du journal *The Engineer.*

28° De M. Dubied, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur le *Transport des marchandises sur les canaux, au moyen de la vapeur.*

29° De M. Amable Cavé, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur les *Roues pleines en tôle pour voitures de chemins de fer*, et sur un *Appareil de sûreté pour l'exploitation des mines.*

30° De M. C. Tronquoy, membre de la Société, plusieurs brochures sur un *Nouveau système de tableaux destinés à remplacer sous un très petit volume la plupart des tables numériques*, par M. Bouché, professeur de mathématiques au Lycée et à l'École supérieure d'Angers.

31° De M. Bruère, membre de la Société, un exemplaire de son *Traité de consolidation des talus, routes, canaux et chemins de fer.*

32° De MM. Molinos et Pronnier, membres de la Société, un exemplaire d'un *Mémoire sur le chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse.*

33° De M. Chollet, membre de la Société, un *Mémoire sur un projet de traverses en tôle.*

34° De M. Louis Lazare, le dernier numéro de ses *Publications administratives.*

35° De M. Belanger, membre honoraire de la Société, un mémoire intitulée : *de l'Équivalent de la chaleur.*

36° Les numéros 61 et 62 des *Mémoires de la Société d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube.*

37° De M. Guettier, membre de la Société, un exemplaire de son *Étude sur l'instruction industrielle.*

38° De M. Vuigner, membre de la Société, un exemplaire de son *Mémoire relatif aux travaux exécutés pour améliorer le régime des eaux sur les rivières et le canal de l'Ourcq.*

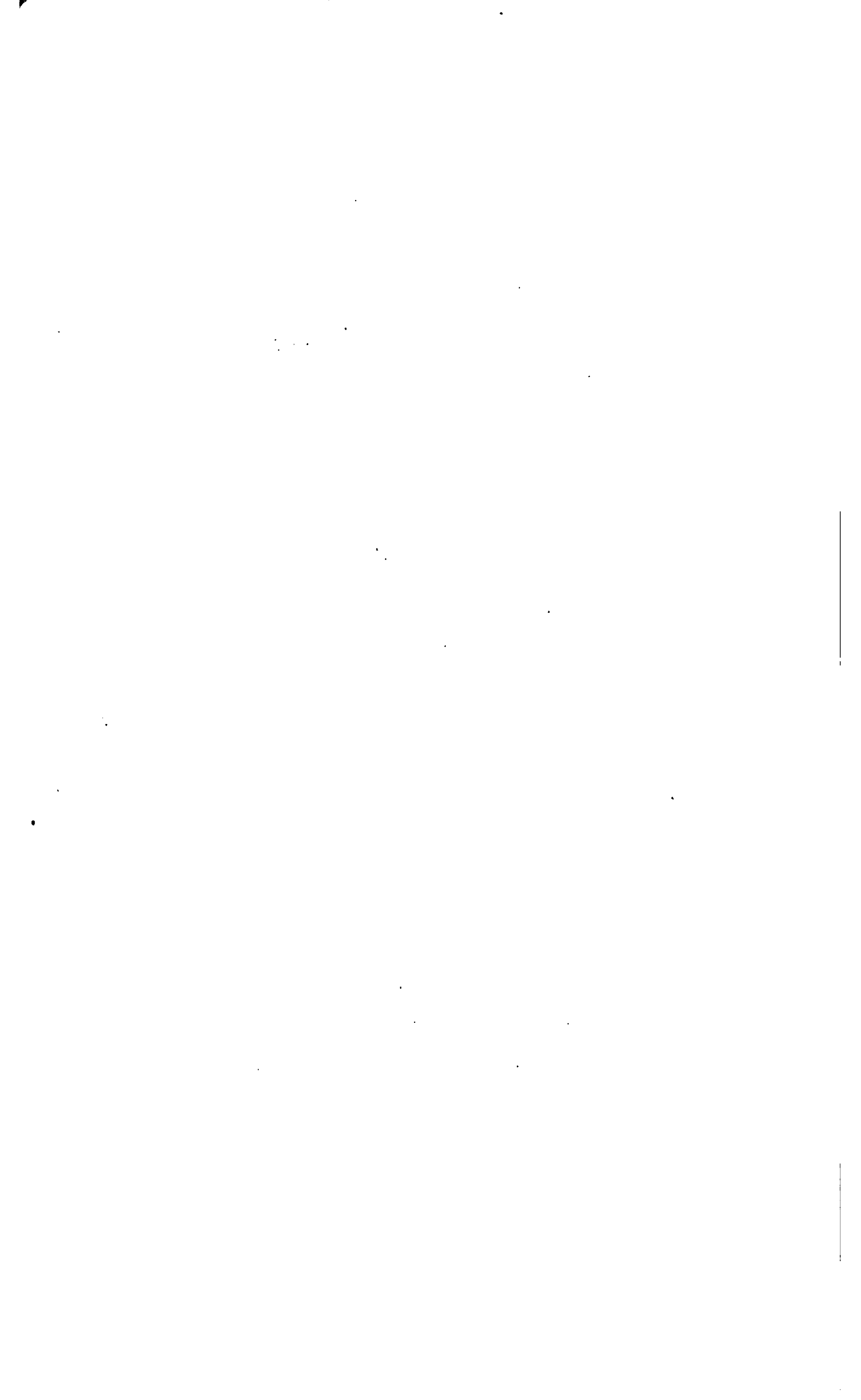
39° De M. de Laveley, un exemplaire de l'*Histoire des vingt-cinq premières années des chemins de fer belges.*

40° De M. Nozo, membre de la Société, un mémoire intitulé : *Essais de production et d'application de l'acier fait dans les ateliers du chemin de fer du Nord.*

Les Membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois de décembre :

MM. GALLOIS, présenté par MM. Faure, Goschler et Eugène Pereire.
GAUPILLAT, présenté par MM. Faure, Salvetat et Tresca.
MARÇAIS, présenté par MM. Bois, Faure et Tresca.
MORIN (le général), présenté par MM. Faure, Flachat, Mony, Perdonnet, Petiet, Vuigner et Tresca.
SCHABAVER, présenté par MM. Faure, Lecœuvre et Tresca.
SCHLUMBERGER fils, présenté par MM. Dubied, Steger et Tresca.
VÉGNI, présenté par MM. Faure, Lecœuvre et Tresca.



RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IVE TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1862

Séance du 3 Octobre 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. Stéger, à l'occasion du procès-verbal, dit qu'il vient de voir fonctionner en Angleterre les pompes dont il a été question dans la dernière séance; les résultats qu'on en obtient l'ont frappé vivement. Il a pu se procurer les plans de ces pompes qu'il met à la disposition de la Société, et il fournira prochainement quelques notes à ce sujet.

M. Tresca a lu dans le journal de la Société des arts que la question des pompes à incendie a fait un nouveau progrès en Angleterre, depuis qu'il a eu occasion de voir celles qui étaient à l'exposition de Londres.

On a installé une de ces pompes sur ce qu'on appelle en Angleterre une *traction engine* (machine locomobile circulant sur les routes ordinaires). La chaudière est en acier mince, la vaporisation est favorisée par une circulation continue de l'eau au moyen d'un petit cheval-vapeur, et le tirage du foyer est tel qu'en quelques minutes on obtient toute la pression nécessaire.

M. Dubied rend compte d'essais qui ont été faits au Havre sur une pompe à incendie de MM. Lee et Gearned. Dans cet appareil destiné à être traîné par des chevaux, les surfaces de chauffe sont formées par des tubes concentriques dont l'intervalle est rempli d'eau et qui sont traversés et entourés par les produits de la combustion. Grâce au faible volume d'eau contenu dans la chaudière, à l'activité du foyer alimenté, à la mise en feu par un combustible formé d'étoupes imbibées d'essence de térébenthine, la pression nécessaire au fonctionnement de l'appareil est obtenue en 7 minutes. Elle atteint 9 atmosphères en marche courante, et la production de vapeur, activée par l'échappement dans la cheminée, est tellement abondante, qu'il faut souvent jeter de l'eau sur le foyer pour ralentir la combustion.

Le volume de l'eau projetée s'est élevé à 2000 litres par minute, la hauteur du jet

étant de 35 mètres; ces chiffres correspondent à une puissance en eau élevée de $\frac{2000 \times 35}{60 \times 75} = 17$ chevaux et demi.

M. Lee a fait voir à M. Dubied les plans de pompes à incendie d'un autre genre, dans lesquelles le même cylindre à vapeur pouvait à volonté transmettre le mouvement, soit aux pompes, soit aux roues du véhicule.

Plusieurs appareils de ce genre fonctionnent déjà en Amérique.

M. Goschler demande si on a continué l'étude du procédé de M. Philips pour l'extinction des incendies par l'emploi de la vapeur.

M. le Président fait remarquer que dans la plupart des cas la difficulté qui se présente dans les incendies est de s'approcher du foyer, et qu'alors il est impossible d'employer la vapeur, dont la densité n'est pas assez considérable pour qu'on en puisse projeter le jet à une grande distance.

M. le Président informe la Société que, suivant une décision du Comité, un bulletin bibliographique sur les ouvrages nouvellement publiés et intéressant la science de l'ingénieur sera ajouté au résumé de chaque séance.

M. le Président, en énumérant les ouvrages qui ont été envoyés à la Société pendant la dernière quinzaine, signale dans l'*Annuaire* des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers une Notice sur l'appareil déjecteur de M. Duméry; dans la *Revue de Cuyper* une Note sur le four de M. Siemens, dont il a été question dans la dernière séance, et dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* un Mémoire sur l'emploi des résidus des manufactures.

M. Barrault entretient la Société d'une nouvelle fabrication de savon par un procédé dit rationnel, imaginé par M. Riot, ancien élève de l'École centrale.

Le système de M. Riot est surtout remarquable en ce sens, qu'il repose sur une nouvelle théorie qui mérite d'autant plus d'être examinée, que des expériences pratiques, faites par des industriels, tendent à faire croire que le savon rationnel de M. Riot satisfait parfaitement à toutes les conditions d'un excellent emploi.

Du reste, de nombreuses commandes faites sur échantillons et la fondation d'une usine importante à Marseille viennent encore à l'appui de cette opinion.

D'après M. Chevreul, les corps gras sont de véritables sels, formés par la combinaison des acides gras, tels qu'acides oléique, margarique et stéarique avec une base qui est la glycérine.

En chauffant les corps gras avec une dissolution de carbonates alcalins ou d'un alcali caustique, on obtient le déplacement de la glycérine qui devient un déchet, et d'autre part les composés alcalins qui constituent le savon.

M. Riot a voulu supprimer ce déchet, qu'il a calculé en étudiant la composition du savon blanc de Marseille, comme étant de quinze pour cent du poids de l'huile d'olive qu'on saponifie. La composition du savon de Marseille est de :

0,50 de matières grasses,
0,05 de soude,
0,45 d'eau.

Il résulte de là, que sur chaque 100 kilogr. d'huile d'olive on perd aujourd'hui 30 kilogr. de savon.

M. Riot a constaté également que le savonnier agit d'une manière pour ainsi dire empirique dans la fabrication, ne sachant jamais d'avance quelle sera la valeur du produit qu'il fabrique.

Enfin, il a reconnu que l'emploi des procédés suivis jusqu'à ce jour entraînaient une main-d'œuvre assez considérable et très-coûteuse, et aussi la production de déchets ou parties non saponifiées, connues sous le nom de *gras*, et composées en grande partie de glycérine qui ne se combine pas avec la soude et la potasse.

Dans le but d'utiliser toutes les parties des huiles, afin de les transformer complétement en savon, sans avoir aucun déchet, et afin de constituer économiquement un savon d'une composition connue à l'avance et possédant des qualités spéciales qui permettent de l'utiliser dans les meilleures conditions possibles, M. Riot a pensé à transformer préalablement la glycérine des huiles en une substance assimilable à l'oléine et à la margarine, dans le but de lui permettre de l'associer à la soude et à la potasse, afin de contribuer à la formation du savon.

M. Riot a utilisé à cet effet la propriété dont jouit l'acide sulfurique d'attaquer la glycérine de préférence à l'oléine et à la margarine pour la transformer en acide sulfoglycérique pouvant former un sel avec les alcalis.

Voici comment on opère dans l'usine de la Capellette à Marseille. On met dans une cuve de 4^{m},50 de côté un mélange de cinquante pour cent d'huile d'olive et cinquante pour cent d'huile de sésame ou d'arachide. Ce mélange est préféré, parce que les huiles d'olive donnent de la dureté aux savons et coûtent fort cher.

On traite le mélange par un pour cent d'acide sulfurique, qui est versé avec un arrosoir en plomb, muni d'une pomme de distribution pour que l'acide sulfurique soit bien réparti en pluie fine.

Deux hommes suffisent pour ce travail : l'un verse tandis que l'autre agite, pour bien mélanger le tout; une demi-heure après, l'huile prend une couleur d'un vert-pomme foncé. On fait alors arriver cinquante pour cent en poids de l'huile en lessive de soude caustique à douze degrés, en agitant toujours fortement.

Un quart d'heure après, on cesse d'agiter et l'on voit bientôt la matière devenir parfaitement limpide, tandis qu'une série de petits globules de savons de la grosseur d'une tête d'épingle se forment et surnagent. Ce sont les corps les plus saponifiables qui se sont emparés de la soude à ce faible degré.

On introduit de nouveau cinquante pour cent de soude à 16° en continuant d'agiter. Les grains passent de la grosseur d'une tête d'épingle jusqu'à trois fois cette grosseur (on les appelle alors écailles). Il faut ensuite agiter longtemps et fortement (4 heures environ) pour faire absorber l'oxygène de l'air bien uniformément, ce qui est essentiel; sinon il y aurait un savon imparfait, d'un blanc peu uniforme; l'on envoie ensuite cinquante pour cent de soude à 20°, et l'on agite jusqu'à ce que le mélange devienne un magmus homogène, ce qui dure encore 4 heures environ.

Le savon est alors formé, et on lui laisse prendre consistance pendant trois jours dans la cuve, où il durcit complétement.

Pour 100 kil. d'huile, on a 250 kil. de pâte savonneuse, contenant 12 kil. 500 gr. de soude. Comme on perd 30 kil. au séchage pour avoir la consistance voulue, on obtient alors 220 kilogrammes.

L'analyse du savon est dans ces conditions :

Composition du savon par un procédé rationnel.

46 — matières grasses,
6 — soude,
48 — eau.

On ne peut apercevoir, au microscope, aucune trace d'huile.

Composition du savon de Marseille.

50 p. 100 matières grasses,
4,500 p. 100 soude,
45,500 — eau.

Il existe encore 5 p. 100 d'huile, que l'on aperçoit au microscope.

Pour faire le savon pour le blanchissage, on laisse tremper la pâte obtenue dans une solution de sel de cuisine marquant 8°.

Ce savon jouit de la propriété de s'emparer de toutes les matières grasses qui se trouvent dans les substances à blanchir, et, de plus, il est absolument neutre; on peut y mettre les soies sans danger, quelle que soit la dose de savon employée.

M. Salvetat fait remarquer que dans ce mode de fabrication il doit y avoir une grande absorption d'oxygène qui pourrait expliquer, en partie du moins, le rendement plus grand qu'on observe avec une quantité donnée de matière grasse. Il pense qu'il faudrait prouver qu'il n'y a pas à froid élimination de glycérine.

M. Tresca ne discutera pas la théorie chimique du procédé exposé par M. Barrault, mais les résultats lui paraissent importants. Dans ce savon une quantité donnée de matière grasse absorbe plus de soude que dans les savons ordinaires; or c'est la soude qui est généralement le principe actif qui est recherché dans les savons, le prix de fabrication est aussi réduit que possible, et s'il est vrai que le savon de M. Riot soit propre à un grand nombre d'usages, s'il n'attaque pas les laines, les soies, les matières organiques, il semble donc qu'il y a là un véritable progrès. M. Tresca cite à ce propos l'introduction des silicates alcalins dans certaines qualités de savons anglais, par rapport à l'état de saturation du savon produit.

M. Salvetat fait observer que si, pour certains usages, il faut que les savons soient aussi neutres que possible, dans d'autres, au contraire, un petit excès de matière grasse n'est pas nuisible, et qu'elle peut être avantageuse; quoi qu'il en soit, il pense qu'il serait nécessaire de faire quelques essais pour voir si dans la fabrication tous les principes contenus dans la matière grasse sont réellement utilisés.

M. Barrault rappelle ce qu'il a dit précédemment et insiste sur l'économie du procédé qui, tout en exigeant moins de temps et ne demandant qu'un matériel peu coûteux, donne un rendement plus considérable que les procédés anciens.

M. Richoux présente quelques modifications apportées au système de voie Barberot, et un nouveau système de plateaux en fonte du même ingénieur.

Il rappelle que M. Barberot s'était proposé dans son premier système de supprimer de la voie le coussinet, élément coûteux et fragile qui augmente les chances d'accidents, pour le remplacer par deux coins en bois dits serre-rails, s'arc-boutant d'un côté sur la traverse, dans une entaille pratiquée à cet effet, et de l'autre côté sur le rail.

Ce système très-économique a donné de bons résultats et a été appliqué, de 1853 à 1856, sur une longueur de 250 kilomètres, dont 95 sur le chemin du Nord, lignes de Creil à Saint-Quentin et de Lille à Dunkerque; 20 sur la ligne de Fécamp; 36 en Égypte, ligne de Soumaned, etc., etc. Si l'application n'a pas été plus étendue, cela tient non pas au système, car les ingénieurs du chemin de fer du Nord se proposaient de l'appliquer sur tout leur réseau, mais à l'adoption du rail Vignole qui permet d'éliminer le coussinet.

Ce système a surtout le grand avantage de permettre le retournement du rail

symétrique et par conséquent d'augmenter sa durée. Retournement jugé impossible avec le coussinet à cause du maculage que produit ce dernier sur le rail.

M. Barberot s'est proposé, par les modifications que nous allons exposer sommairement, d'obtenir l'élimination du bois dans la construction des voies de chemins de fer, et il y procède méthodiquement : 1° en remplaçant les serre-rails en bois, qu'il avait d'abord imaginés, par une pièce en fer ou griffe ayant la forme d'un U, buttant par sa base sur la traverse et y étant fixée par un tire-fond. Cette griffe vient s'appuyer sur le rail pour les traverses intermédiaires, et sur l'éclisse pour les traverses de joints. Les traverses sont entaillées pour épouser la forme du rail et pour recevoir la buttée des griffes. Dans le cas où les fibres du bois ne présenteraient pas une résistance suffisante pour recevoir cette buttée. M. Barberot place un arrêt en fer, sorte de crampon ayant une tête appropriée à cet usage.

Les joints reposent sur une traverse et sont éclissés. Au lieu d'éclisses ayant 40 centimètres de longueur et percées de quatre trous, M. Barberot applique des éclisses de même forme, mais n'ayant que 20 centimètres; elles sont percées au centre d'un seul trou ovale recevant le boulon. Le corps de ce boulon a sa section formée par deux demi-cercles raccordés par deux parties droites. Les rails sont percés à leurs extrémités d'un trou ayant la forme d'une demi-section de boulon. Les parties droites sont distantes d'une côte sensiblement égale à la plus petite dimension du boulon, de telle sorte que celui-ci ne puisse pas prendre un jeu vertical ni s'opposer aux mouvements résultant de la dilatation des rails.

Dans ce système qu'on applique aux voies à double champignon ou aux voies Vignole, le glissement longitudinal des rails dans le sens des pentes de la voie est combattu par le frottement qui résulte de la pression des griffes sur le rail ou sur les éclisses, pression dont on est maître, soit en serrant plus ou moins les tire-fonds, soit en variant l'angle que la griffe fait avec la traverse ou avec le rail.

Ce que nous venons de dire s'applique à la pose des voies sur traverses.

M. Barberot a également étudié une pose sur plateaux en fonte. Ces plateaux sont rectangulaires ; ils ont 70 centimètres sur 25 ; ils sont armés en dessous de deux nervures en croix de 6 centimètres de hauteur, formant quille entrant dans le ballast et s'opposant aux différents mouvements des plateaux. Ceux-ci sont reliés entre eux par une tringle d'écartement, en fer, qui vient se fixer en dessous, à la nervure la plus longue, c'est-à-dire que la plus grande dimension du plateau est perpendiculaire à l'axe de la voie.

Entre le rail et le plateau se trouve placée une semelle en bois de 3 cent. d'épaisseur, destinée à faire participer ce système aux avantages qui résultent, pour la voie ordinaire, de l'élasticité du bois.

Ces plateaux sont fondus de manière à pouvoir recevoir les serre-rails en bois pour les intermédiaires et les griffes en fer pour les joints. Dans l'un et l'autre cas, les boulons servant à fixer les griffes ou les serre-rails traversent les plateaux et la nervure transversale. Disposés de cette façon, ces plateaux présentent une stabilité suffisante, et leur poids peut être moindre que celui des anciens plateaux qui reproduisaient toujours le coussinet.

Ces différentes modifications conduisent dans l'application aux prix suivants :

Système ordinaire posé sur traverse avec rail à double champignon, pour une longueur de 6 mètres.

7 Traverses à 6 fr. l'une.	42 f.	» c.
14 Coussinets de 9 kil., 126 kil. à 160 fr.	20	16
28 Chevillettes de 500 gr., 14 kil. à 350 fr.	4	90
14 Coins en bois, à 10 c.	1	40
4 Éclisses de 4k,500, 18 kil. à 270 fr.	4	86
8 Boulons d'éclisses de 425 gr., 3k,400 à 350 fr. . . .	1	53
Sabottage de 7 traverses à 20 c.	1	40
Transport, coltinage et pose.	7	»
Pour 6 mètres de simple voie. . . .	83 f.	25 c.

Soit 13 fr. 87 c. par mètre courant.

Système Barberot posé sur plateaux en fonte avec rail Vignole ou double champignon pour une longueur de 6 mètres.

12 Plateaux en fonte de 28 kil. chaque, 336 kil. à 160 fr.	53 f.	76 c.
12 Semelles en bois de 10 c. l'une.	1	20
20 Coins en bois, à 10 c. l'un.	2	00
20 Brides en fer de 250 gr. l'une, 5 kil. à 300 fr.	1	50
4 Éclisses de 1k,600, 6k,400 à 270 fr.	1	72
2 Boulons de 1k,200, 2k,400 à 450 fr.	1	08
24 Boulons de 700 gr., 16k,800 à 350 fr.	5	88
4 Griffes en fer de 700 gr., 2k,800 à 350 fr.	»	98
6 Tringles d'écartement en fer, 4k,24 à 350 fr.	8	40
Transport, coltinage et pose.	6	00
Pour 6 mètres de simple voie. . . .	82 f.	52 c.

Soit 13 fr. 75 c. par mètre courant.

Système ordinaire posé sur traverse avec rail Vignole, pour une longueur de 6 mètres.

7 Traverses à 6 fr. l'une.	42 f.	» c.
24 Crampons ou tire-fonds de 350 gr., 8k,400 à 350 fr. .	2	94
4 Éclisses de 4k,500, 18 kil. à 270 fr.	4	86
8 Boulons d'éclisses, 425 gr., 3k,400 à 450 fr.	1	53
Sabottage de 7 traverses à 10 c.	»	70
Transport, coltinage et pose.	7	»
Pour 6 mètres de simple voie. . . .	59 f.	03 c.

Soit 9 fr. 83 c. par mètre courant.

Système Barberot posé sur traverses avec rail à double champignon ou Vignole, pour une longueur de 6 mètres.

6 Traverses à 6 fr. l'une.	36 f.	» c.
24 Griffes en fer de 700 gr., 16k,800 à 350 fr.	5	88
24 Tire-fonds de 350 gr., 8k,400 à 350 fr.	2	94
4 Éclisses de 1k,600, 6k,400 à 270 fr.	1	72
2 Boulons d'éclisses de 1k,200, 2k,400 à 450 fr.	1	08
Sabottage de 6 traverses à 20 c.	1	20
Transport, coltinage et pose.	6	»
Pour 6 mètres de simple voie. . . .	54 f.	82 c.

Soit 9 fr. 13 c. par mètre courant.

M. Richoux croit que M. Barberot pourrait parfaitement obtenir une voie plus économique avec le rail Vignole, en conservant les crampons ou tire-fonds pour les traverses intermédiaires, et en n'appliquant ses griffes qu'aux joints; en adoptant ce système mixte, on arriverait à un prix inférieur à celui de 9 fr. 13 c. par mètre courant.

Les éléments de prix qui ont servi de comparaison à ces différents systèmes sont conformes aux prix courants.

Il résulte de ces comparaisons, que les modifications apportées par M. Barberot conduisent à une économie sur le prix de revient des voies Vignole et à double champignon, et qu'elles permettent d'arriver à ce résultat fort remarquable: d'avoir une voie métallique parfaitement établie, n'ayant pas les inconvénients de la voie Barlow, à un prix inférieur à celui d'une voie ordinaire avec rail à double champignon.

Ce résultat mérite d'être pris en considération, bien que son importance ne soit pas aussi grande en France, où l'on peut encore se procurer des traverses à un prix convenable, que pour les pays qui sont complétement dénués de bois, et pour ceux où la sécheresse est telle que les bois se fendent à l'ardeur du soleil et n'ont point de durée.

M. Richoux présente ensuite à la Société un tire-fond modifié par M. Love dans le but de permettre la dépose des rails sans en enlever les attaches.

La modification consiste à enlever deux des pans de la tête ordinaire, et à les remplacer par un pan unique tangent au corps cylindrique. Il résulte de cette disposition qu'on peut toujours amener la tête sur le patin du rail, et qu'il suffit de faire faire une portion de tour au filet pour que le pan coupé puisse quitter ce même patin.

Sur la demande de M. Goschler, qui a quelques observations à présenter au sujet de la communication qui vient d'être faite, la discussion est remise à la prochaine séance.

M. Yvert analyse une note de M. de Brunet sur la destruction de la culée droite du pont d'Asséca sur un des chemins de fer portugais.

Le pont est biais, il se compose de poutres en fer formant trois travées de 29m,40 de portée, avec deux piles en fonte et culées en maçonnerie.

Les culées avaient été fondées sur pilotis, au moyen de pieux en sapin de 0m,25 à 0m,30 de diamètre, espacés de 1 mètre d'axe en axe et enfoncés à refus avec une

fiche de 5 mètres dans une couche d'argile compacte. Les moutons pesaient de 600 à 1000 kilogrammes.

Sur ce pilotage fut établi un grillage, également en sapin de $0^m,30$ sur $0^m,25$ d'équarrissage, avec cadre reliant solidement ensemble toutes les parties du grillage. Puis après l'exécution d'un encaissement en maçonnerie, un massif en béton hydraulique avait été coulé entre le grillage sur $1^m,25$ de hauteur.

Au-dessus avait été posée la première assise du soubassement qui était en retraite de $0^m,80$ sur les faces de la fondation ; puis deux autres assises en retraite sur la première, et l'une sur l'autre, de $0^m,30$.

La troisième assise atteignait le niveau du sol environnant.

Il est à remarquer que les dessins qui accompagnent le mémoire de M. de Brunet représentent les pilots et le grillage comme n'existant pas sous toute la maçonnerie de la culée. Les murs de tête reposent en partie sur le pilotage et en partie sur le sol naturel.

Le porte à faux en dehors du pilotage était de $5^m,70$ en parement pour l'un des murs, et de 8 mètres environ pour l'autre.

Pour économiser la maçonnerie, les murs de tête et le mur de face, pied droit de la culée, avaient été construits avec des retraites successives, de sorte que l'épaisseur de ces murs, qui était de $3^m,60$ et $2^m,60$ à la base, était réduite à 2 et 1 mètre à la partie supérieure, à $8^m,50$ au-dessus de la troisième assise du soubassement. Le tout construit en moellons avec chaînes en pierre de taille.

Le remblai avait 6 mètres environ au-dessus du terrain naturel. La construction de la culée était à peu près terminée ; mais le remblai n'était pas encore exécuté, quand survint une inondation qui ne produisit aucun effet apparent.

On était prêt à achever le travail, on posait les couronnements et les remblais venaient d'être terminés, quand le 7 avril 1861 on remarqua que la pierre de taille de la culée droite, sur laquelle s'appuie la poutre du milieu, était sortie de l'alignement du cordon d'environ $0^m,005$ et pivotait sur l'arête du côté d'aval.

Une lézarde au-dessous et le long du parement, se perdant à la hauteur du premier socle, se produisit en même temps. Le lendemain à sept heures du soir, les poutres penchèrent un peu sur l'eau et les remblais aux abords s'affaissaient en glissant doucement sur l'aval ; la culée travaillait, la fente s'était augmentée et allait toujours s'élargissant ; trois autres fissures s'étaient produites ; les poutres continuaient à s'incliner et commençaient à se courber en rompant le mur qui retenait les terres ; celles-ci descendaient de plus en plus. Enfin toute la partie de la culée sur laquelle reposaient les poutres suivait une impulsion donnée par les terres environnantes, qui s'avançaient elles-mêmes vers la rivière.

En effet, sur une longueur de 51 mètres, à partir du parement extérieur de la culée du pont et en allant du côté du remblai, tout le terrain s'était porté en avant.

Le lit de la rivière, qui était de 12 mètres avant l'événement, était réduit à une largeur de 4 mètres. Le terrain et le remblai se trouvaient crevassés et fendillés en tous sens, à droite et à gauche.

La partie droite de la culée du pont avait pris un surplomb de $0^m,55$ et était sortie de l'alignement de $2^m,40$. La partie gauche avait conservé sa position.

Enfin les poutres en fer étaient tordues, les boulons qui les retenaient étaient brisés. Plus tard, lorsqu'on démolit la culée pour rétablir le pont, on vit que le béton et le grillage avaient été également portés en avant par les mêmes forces que le reste de la culée, et qu'ils s'étaient rompus et avaient perdu leur aplomb.

Les pilots étaient tous inclinés ; ceux d'aval l'étaient plus que ceux d'amont, et parmi les premiers un certain nombre s'étaient brisés.

« On peut conclure de ces données, dit M. de Brunet, qu'aucun défaut de construc-« tion n'a amené la ruine de cet ouvrage; il faut uniquement l'attribuer à la nature « du sous-sol en argile, avec pente dans le sens de la rivière, ainsi *qu'au vide produit « par la rectification du lit de l'Asséca* lors de sa canalisation. »

M. Yvert ne partage pas cet avis, bien qu'il ne connaisse pas la nature des travaux de la canalisation, dont le mémoire ne dit pas autre chose, et qu'il ne puisse apprécier l'importance de ce fait. Il critique la forme donnée à l'évidement fait dans la culée pour économiser la maçonnerie. Lorsque cette disposition est adoptée, le remblai forme coin et la poussée tend toujours à renverser les murs en aile. Il aurait fallu, selon lui, faire en pierres sèches le remblai dans la culée, ou mieux encore, comme la culée n'avait à porter que des poutres en fer, l'évider dans tous les sens par deux voûtes se croisant, de manière à permettre aux terres de prendre leur talus naturel, de sorte qu'il n'y eût pas de poussée, en aucun sens, sur les murs de la culée. Enfin, il fait remarquer que, par suite du sens de biais du pont, il s'est trouvé que c'est le mur de tête le plus long qui était à l'aval, et qui par suite, à cause de l'inclinaison du terrain, recevait la plus grande poussée du remblai, ce qui a fait que les forces qui faisaient glisser le terrain ont eu une action plus énergique sur l'ensemble de la culée.

M. Goschler fait observer qu'aux causes signalées par M. Yvert, il faut aussi tenir compte des inondations qui ont eu lieu dans toute la Péninsule en 1860, inondations qui ont produit le renversement d'un grand nombre de ponts par les glissements de terrain qu'elles ont déterminés. Il a dû y avoir à l'Asséca quelque phénomène de ce genre.

M. Yvert termine sa communication en résumant rapidement la partie de la note relative aux travaux de reconstruction du pont.

On remplaça le remblai qui avait glissé par deux nouvelles travées ayant ensemble 62 mètres de longueur, qui furent ajoutées à celles qui existaient déjà, et les poutres furent soutenues par des piles formées de deux tubes en fonte de $1^{m},824$ de diamètre, dont l'une prit la place de la culée détruite en s'enfonçant profondément dans l'argile compacte. La dernière pile, qui est en dehors de la partie du terrain bouleversée, remplace une culée, et laisse le remblai prendre son talus naturel sans obstacle. Les poutres du pont sont à treillis ; les pièces du pont sont, à la partie supérieure, des poutres, qui sont reliées entre elles, à la partie inférieure, par un entre-toisement.

Il n'existe encore qu'une voie; mais toutes les dispositions sont prises pour pouvoir ajouter la deuxième voie, sans rien modifier aux constructions actuelles.

Séance du 17 Octobre 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. le Président annonce que, conformément à une décision du Comité, l'échange du Bulletin de la Société sera fait contre le Bulletin de l'Association des Architectes et Ingénieurs du royaume de Hanovre.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. de Ruolz qui demande que la Société accepte le dépôt d'un paquet cacheté, afin de prendre date pour la priorité d'invention d'un procédé de chimie industrielle. Le dépôt est accepté.

M. le Président annonce que M. Frédéric Weil, membre de la Société, lui a adressé trois mémoires :

1° Sur deux nouvelles matières tinctoriales rouge et jaune provenant de Montevidéo ;

2° Sur les bitumes de Cuba ;

3° Sur les huiles de pétrole de la Pensylvanie.

Lecture de ces mémoires sera faite dans la prochaine séance.

Au sujet des Mémoires présentés par M. Weil, M. le Président informe la Société que les huiles de pétrole de Pensylvanie sont si abondantes qu'on a récemment proposé de les employer au chauffage des machines à vapeur. Bien que le prix d'acquisition de ce combustible nouveau soit élevé comparativement au prix du charbon employé actuellement ; il résulte de la puissance calorifique des huiles de pétrole, que la dépense de chauffage ne serait qu'une fois et demie la dépense par le chauffage au charbon.

M. le Président donne lecture d'une note de M. Beaudemoulin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, *sur les décintrements au moyen du sable.*

Dans cette note l'auteur se propose de compléter la notice publiée à ce sujet par les soins du ministère des travaux publics dans la brochure qui était distribuée à l'exposition universelle de Londres.

M. Beaudemoulin rappelle que la première application du sable contenu dans des sacs a eu lieu en 1847 ; elle a depuis été renouvelée, toujours avec succès, par MM. les ingénieurs Desnoyers, Compaing, Drouets, etc., puis par MM. Couche et Petit, qui ont construit le pont Napoléon de Bercy en 1853. Les cylindres en tôle remplaçant les sacs avaient été proposés par feu de Sazilly à M. Beaudemoulin, qui les a fait connaître par une note, datée du 9 mars 1854 et publiée dans les *Annales des ponts et chaussées;* ils ont été appliqués, dans la même année et pour la première fois, au pont d'Austerlitz, par M. le conducteur Bouziat.

La Notice publiée pour l'exposition s'occupe *uniquement* de cet appareil : elle ne dit rien des inconvénients qu'il a montrés ; elle ne parle pas du succès de celui qui l'a précédé et donne ainsi à penser que l'enveloppe est la chose essentielle, tandis que, suivant l'auteur, elle n'est qu'un accessoire, l'emploi du sable demeurant l'élément capital.

Au pont de l'*Alma*, le premier où M. Beaudemoulin ait pu suivre et étudier l'emploi des cylindres, on a d'abord monté les cintres sur des billes en bois, remplacées

ensuite, au moyen de verrins, par les cylindres pleins de sable et munis de leur piston pour quelques-uns, les besoins de l'ajustage ont obligé de battre des coins entre la semelle supérieure et le piston; de là pour celui-ci une inclinaison qui aurait pu être dangereuse, si la descente possible n'eût pas été fort restreinte.

Maintenant on monte de suite les cintres sur les cylindres; les billes et verrins ne sont plus en usage.

Les coins avaient l'inconvénient de diminuer, de leur plus grande épaisseur, la course possible du piston. Ainsi, l'écartement des semelles est ordinairement de $0^m,50$ et la hauteur du cylindre avec sa plate-forme est de $0^m,34$; il reste donc $0^m,16$ pour le *maximum* de descente du piston. Or, au pont de l'*Alma*, ce *maximum* s'est trouvé réduit, par les coins, à 9 ou 10 centimètres.

Les tassements de ce pont ayant été beaucoup plus forts, on n'a pu décintrer avec les premiers cylindres; on les a remplacés, toujours avec des verrins, par d'autres moins hauts, et l'opération finale a été très-difficile.

Il est évident (ajoute M. Beaudemoulin) qu'il eût mieux valu placer près des premiers cylindres, dès que leur insuffisance était connue, des sacs de sable permettant un affaissement égal à l'écartement des semelles, moins toutefois l'épaisseur de la toile. Il insiste sur ce *grand avantage* des sacs, parce qu'il semble méconnu. Avec eux, l'écartement des semelles étant de $0^m,50$, on peut faire baisser un cintre de $0^m,40$ *au moins*, tandis que les cylindres ne peuvent donner, *au plus*, que $0^m,16$ et n'ont produit que $0^m,10$ au pont de l'*Alma*. Il pense qu'il est utile, même quand on emploie les cylindres, de préparer des sacs auxiliaires pour le cas de tassements dans les piles, qu'il faut *toujours* prévoir et vérifier pendant l'opération avec autant de soin qu'on en met pour les arches.

Quoi qu'il en soit, il a vu à ce pont un fait dont l'importance l'a frappé et qui est présenté comme un inconvénient dans l'article de la brochure; car on y lit, page 256: « Il faut de temps en temps dégager les orifices du sable qui s'y accumule. Sans cette « précaution, le petit cône de sable qui se forme au droit de chaque orifice arrête « l'écoulement.

Ce fait capital, ajoute l'auteur, d'un petit cône de sable suffisant par sa pression pour arrêter l'écoulement, *quelle que soit la charge*, est la conséquence et la démonstration des propriétés qui avaient fait choisir le sable, savoir : 1° quasi-fluidité; 2° incompressibilité; 3° surtout inélasticité. Cette *non-élasticité* est une qualité précieuse et caractéristique du sable : aggloméré par une forte pression, il se moule dans l'enveloppe, forme un corps solide et reste tel, alors même qu'on ouvre une assez grande partie de cette enveloppe : il faut gratter avec les doigts pour le désagréger, un coup de hache appliqué, par expérience, sur un sac du sable soumis à la charge d'une voûte, a produit une large ouverture, mais un écoulement très-faible et sans réaction.

La facilité d'arrêt, loin d'être un inconvénient, assure l'infaillibilité du système en lui faisant produire par intermittence des affaissements toujours égaux et presque infiniment petits.

Ce fait a rallié M. Beaudemoulin à l'emploi des cylindres; mais pour une application spéciale et nouvelle, parce que leur paroi mince et rigide se prête mieux que toute autre enveloppe à l'ouverture d'orifices, d'un débit *strictement égal;* il en a conclu un procédé qu'il a appelé *différentiel* et qui a pour la pratique une utilité comparable à celle de l'invention initiale.

Ce procédé consiste à faire le balayage des petits cônes successivement et par ordre; il fait baisser le cintre par *éléments différentiels*, il permet d'opérer un décintrement;

ayant autant de points d'appui qu'on voudra, avec très-peu d'ouvriers et même avec un seul. Il a été appliqué aux ponts 1° Saint-Michel, 2° au Change, 3° Louis-Philippe; pour chacun des deux premiers le nombre des points d'appui par arche était de 64; on a décintré les 3 arches à la fois. Il aurait fallu, par les procédés antérieurs, 192 ouvriers; *on n'en a employé que douze*, et l'opération n'a duré que *deux heures*. Il cite cette brièveté comme un fait, mais il préfère une sage lenteur qui donne plus de temps aux matériaux pour s'asseoir et aux ingénieurs pour vérifier s'il y a des tassements dans les piles, cas auquel il faut immédiatement appliquer les sacs.

M. Beaudemoulin termine sa note en rappelant les propriétés curieuses du sable, qu'il aurait surtout cru utile de vulgariser dans une exposition universelle, de manière que chaque industriel pût juger du parti qu'il en pouvait tirer dans sa spécialité: il décrit sommairement un appareil qui les aurait fait apprécier indépendamment des décintrements. Il regarde ceux-ci comme une des applications possibles et en indique d'autres, parmi lesquelles celle qui aurait pour but de faire descendre une maison au niveau d'une chaussée abaissée par mesure administrative. Il pense que cette descente pourrait, au moyen du sable, être opérée sans la moindre trépidation, et par conséquent sans étais, blindage, etc.

M. Delonchant donne ensuite lecture d'une note intitulée : *De la diminution dans les frais de transport par l'application de la traction à vapeur sur le sol des routes ou sur voies ferrées au niveau des chaussées.*

L'auteur, par un examen comparatif, détaillé, établit d'abord que toutes les fois que l'importance du trafic entre diverses localités ne permettra pas la construction d'un véritable chemin de fer, il sera encore possible d'obtenir une réduction dans les frais de transport par l'établissement de voies ferrées sur les routes construites, en donnant la préférence au moteur à vapeur sur les chevaux; et là où le trafic plus réduit encore et surtout si la route est très-montueuse, les frais de la voie ne pourraient plus être couverts par l'économie obtenue sur la traction, on devra faire usage de machines à vapeur roulant sur le sol même de la route. Dans beaucoup de cas c'est même par ce seul moyen qu'il sera prudent de débuter, sauf à en venir plus tard à la voie ferrée quand la diminution du prix de transport aura attiré le trafic et lui aura donné une suffisante importance.

M. Delonchant indique ensuite les conditions que doit remplir l'établissement d'une machine devant circuler sur le sol d'une route:

Il faut, autant que l'état actuel de la science mécanique le permet, diminuer le poids de l'ensemble de la machine et retrouver au besoin (dans des cas qui sont d'ailleurs très-rares), par une nouvelle disposition des véhicules, la portion d'adhérence que le moteur, trop léger, perdrait, et qui ne serait plus à un degré suffisant pour être en rapport avec la puissance qu'il serait capable de développer. Pour la conservation des routes sur le sol desquelles une machine, quoique destinée à un service sur rails, peut être appelée à circuler momentanément, et à plus forte raison celle qui ne doit fonctionner que sur le sol des routes, ne doit pas dépasser un poids total de dix tonnes, pour que le poids porté par chaque roue n'excède pas 2500 kilog., maximum indiqué par le général Morin.

Avec ce poids il ne paraît pas possible d'obtenir au delà de 45 mètres de surface de chauffe, ce qui limite la puissance de la machine à 2250 kilogrammètres par seconde, soit 30 chevaux-vapeur.

La machine doit être disposée de manière à n'avoir rien à redouter des chocs et

surtout des variations de distance et do parallélisme qui ont lieu à chaque instant do la marche entre le truc et les trains des roues qui sont reliés au premier par des ressorts.

Elle devra tourner sans glissement des roues dans des courbes pouvant descendre jusqu'à cinq mètres de rayon ; par conséquent les essieux doivent pouvoir converger vers le centre de la courbe, en continuant de recevoir sans perte et sans déformation des organes l'action de la puissance motrice.

Par l'influence des rampes ou par suite de l'état du sol de la chaussée, la résistance à la traction pouvant varier dans des proportions quelquefois très-considérables, il faut que la machine, dont toute la force aura dû être utilisée dans les parties les plus favorables, avec la vitesse de translation maxima de 15 kilomètres. à l'heure, qu'il serait dangereux de dépasser sur une route à usage commun, puisse sans autre diminution dans la vitesse des pistons que celle que peut donner l'emploi d'une détente variable, absorber toujours toute la vapeur produite par la chaudière, et cependant que la vitesse de translation puisse être réduite sur certaines parties des routes, dans un rapport plus étendu que celui que peut fournir la détente.

La nécessité de tourner dans des courbes de très-petit rayon qui se rencontrent si souvent sur les routes, et d'ailleurs la marche sans cesse sinueuse à laquelle on est obligé sur une route à usage commun, où les obstacles de toute nature abondent, exigent impérieusement d'éviter le glissement des roues motrices, sous peine d'annuler, par le frottement qui en résulterait, toute ou très-grande partie de la force motrice.

M. Delonchant se propose de soumettre prochainement à la Société un modèle qu'il exécute en ce moment et dans lequel il s'est efforcé de réunir toutes les conditions qui viennent d'être énumérées.

M. Delonchant examine ensuite successivement : 1° le coût de la traction par chevaux, suivant que le service comporte ou ne comporte pas l'établissement de relais, que le service se fait au pas ou au trot;

2° Le coût de la traction par machine en admettant les vitesses de 90 et de 36 kilomètres par jour (dix heures).

Enfin, rapprochant ces résultats les uns des autres et supposant qu'il s'agisse d'établir un service pour un parcours de 40 kilomètres, avec une déclivité moyenne de 0.02 et des rampes extrêmes de 6, importance du trafic 100 voyageurs, 6 tonnes de messageries, 60 tonnes de marchandises,

Il obtient les résultats suivants :

		Capital d'établissement.	Dépense par jour.
Traction par chevaux	sur route	660000 francs.	1296 francs.
id.	sur rails	1.156000	1061
Traction par machine	sur rails	1.050000	715
id.	sur route	335000	566

Ainsi, pour un semblable trafic et sur la même route, dit M. Delonchant, l'emploi d'une voie ferrée avec traction par chevaux donne sur la même traction exercée sur le sol de la route une économie annuelle de 85775 francs.

D'après ces indications, l'emploi de machines sur voie ferrée donnerait sur la traction animale sur rails une économie annuelle de 126290 francs ;

L'emploi de machines sur le sol des routes donnerait sur l'emploi de machines sur rails une économie annuelle de 54385 francs.

Et enfin, les machines sur routes donneraient sur les chevaux aussi sur routes une économie annuelle de 266450 francs.

Résultats qui, sans être d'une rigueur mathématique, n'en sont pas moins assez près de la vérité pour frapper vivement les esprits et encourager les tendances à l'étude de l'intéressante question du transport à bon marché.

M. le Président, en remerciant M. Delonchant de sa communication, appelle l'attention de la Société sur tous les chiffres cités par l'auteur dans le cours de son mémoire, en dehors des conséquences qui résultent de ces chiffres. La discussion aura lieu dans une prochaine séance ; en attendant, le mémoire restera à la disposition de tous les membres de la Société qui voudront le consulter.

M. Faure fait observer que les chiffres obtenus par M. Delonchant pour le rendement des machines résultent d'hypothèses qu'aucune expérience n'est venue confirmer.

Toutes les machines pour transport sur routes ont jusqu'à présent échoué en France aussi bien qu'en Angleterre, et la solution du problème est encore à trouver.

La parole est donnée à M. Goschler pour présenter ses observations sur les systèmes de voies de M. Barberot, exposés par M. Richoux dans la précédente séance.

M. Goschler reconnaît tout d'abord que le système primitif de M. Barberot a donné des résultats satisfaisants quand il a été établi dans de bonnes conditions, c'est-à-dire en employant des traverses entaillées avec précision, des coins soigneusement préparés et des ouvriers très-expérimentés dans ce genre de travaux, mais que le contraire est arrivé quand toutes ces conditions réunies n'étaient pas remplies.

En l'absence d'essais faits sur les modifications apportées par M. Barberot, et dont il serait désirable que quelque compagnie tentât l'expérience, il est difficile de préjuger les résultats qu'on en obtiendra. Quoi qu'il en soit, l'examen des modèles déposés sur le bureau de la Société peut suggérer les observations suivantes :

La voie posée sur plateaux en fonte réunis par une tringle de fer rond de faible échantillon n'aura pas de stabilité. Par ce procédé, on n'en peut régler ni l'écartement ni l'inclinaison des rails. Elle serait surtout dangereuse dans des parties de la voie ballastées en sable fin et soumises aux inondations ou aux vents violents.

Il paraîtrait préférable d'employer des traverses en fer à double T solidement rivés au plateau. Cette disposition serait plus coûteuse, mais on pourrait diminuer de beaucoup le poids des plateaux et obtenir ainsi une réduction de dépenses. La cale en bois posée entre le rail et le plateau est trop faible, elle doit être écrasée très-rapidement. Le mode d'éclissage ne paraît pas non plus à l'abri de toute objection, il semble que la longueur de l'éclisse n'est pas suffisante pour produire l'encastrement et par suite s'opposer à la dénivellation des extrémités des rails. La forme aplatie et allongée dans le sens de la voie de la partie engagée dans les rails du boulon unique destiné à relier les éclisses aux rails, pourrait également donner lieu à quelque critique. Destiné à épouser très-exactement le vide d'une entaille oblongue pratiquée dans l'extrémité de chaque rail, bien loin de diminuer le déchet résultant du perçage des rails à l'usine, le boulon semblerait devoir provoquer la rupture des rails suivant leur axe, puisqu'il agirait sous forme de levier, mis en mouvement par le passage de chaque roue, lorsqu'il se produit une flexion à droite et à gauche de l'éclisse.

En ce qui concerne l'emploi des griffes en fer, il doit y avoir glissement du fer des griffes contre celui des éclisses. Deux inconvénients peuvent donc résulter de cette disposition, d'une part oscillation du rail autour de sa base d'appui sur la traverse; d'autre part translation longitudinale dans le sens de la marche des trains. Ce dernier

inconvénient serait surtout très-fâcheux au point de vue des dépenses d'entretien de la voie.

Enfin et comme dernière remarque, le système proposé se compose d'un trop grand nombre de pièces différentes; l'expérience ayant démontré la nécessité de réduire, autant que possible, le nombre de pièces qui doivent être constamment à la disposition des hommes chargés de l'entretien de la voie.

M. Barberot, répondant aux observations de M. Goschler, fait observer que c'est justement pour remédier à la nécessité de faire exécuter son système par des ouvriers très-expérimentés et sur l'exactitude absolue desquels on ne peut toujours compter, qu'il a modifié son mode d'attache des rails, substituant les griffes en fer aux cales en bois : ces griffes, prenant leur point d'appui soit dans une entaille pratiquée dans la traverse, soit contre un butoir en fer, sont désormais à l'abri de l'incurie ou de l'inexactitude des ouvriers; que leur point d'appui soit un peu plus loin ou un peu plus près que le point déterminé, elles produiront toujours leur effet un peu plus bas ou un peu plus haut sur le rail.

Si M. Goschler n'était pas aussi habile en matière de chemin de fer, on trouverait naturel qu'il attendît l'essai du système qui nous occupe pour en connaître les résultats; mais, avec son expérience et ses connaissances, il peut dès à présent en préjuger les effets.

Il dit, d'ailleurs, que la voie n'aura pas de stabilité, et pour produire cette observation grave il n'attend pas que l'expérience ait prononcé.

M. Barberot estime, au contraire, que la quille en croix que portent ses semelles, dans leur partie inférieure, les rendra absolument immobiles, par la raison que le bourrage se fera sur tous les points avec une énergie et une régularité non obtenues avec les traverses ordinaires, qui se débourrent d'un côté quand on bourre de l'autre, tandis que des deux côtés de la semelle de fonte, la quille dont il vient d'être parlé répond au choc de l'outil et assure l'efficacité de son action puisqu'il n'aura à comprimer le ballast que dans une épaisseur de 10 centimètres.

M. Barberot maintient, pour relier les semelles, sa tige en fer rond ; sa voie ne peut ni s'ouvrir ni se fermer à cause du bourrage parfait, bourrage exécuté sur des surfaces aussi étendues que sur les traverses d'aujourd'hui. Il trouve d'ailleurs, à la mobilité de la tringle, l'avantage d'une pose plus régulière et plus sûre dans les courbes, et prétend enfin que le sable fin se prête aussi bien au bourrage que le gros sable ; et quant à l'éventualité des inondations , il ne s'en préoccupe pas, car il est persuadé que son système se comportera tout aussi bien que les voies posées sur traverses.

Dans le système des serre-rails en bois, plus de 200 mille mètres de voie ont été posés, le rail reposant directement sur la traverse : après cinq à six ans d'existence, la pose a été examinée, et il a été constaté que le rail avait imprimé sa forme sur le bois, qui était pour ainsi dire macadamisé par les poussières de sable et l'oxyde de fer, et que le bois lui-même n'avait éprouvé aucune dépression.

Ceci répond à l'observation de M. Goschler sur la faiblesse de la cale en bois servant d'assise au rail.

Quant aux éclisses, elles seraient plus courtes, qu'elles produiraient encore leur effet. Quant à l'action sous forme de levier, qui, suivant M. Goschler, pourrait résulter de la forme ellipsoïde du boulon, que nous pouvons appeler la cheville ouvrière du système, cette action ne se produira pas, attendu que ce boulon, remplissant exactement le vide de l'entaille pratiquée à chaque bout de rail, fait corps avec lui, solidarisant

ainsi la voie tout entière ; enfin, il n'y a pas de porte-à-faux ; puisque le joint repose sur une traverse, où donc serait le danger de l'action de levier? Pour en éloigner encore la crainte, M. Barberot dit : Mon joint a quatre points essentiels d'appui : *la traverse, le boulon qui unifie les deux rails, les platines dont les joues sont encore un soutien, et les griffes, dont le serrage sert de complément au système.*

La crainte exprimée par M. Goschler de voir le fer des griffes glisser sur celui des éclisses ferait supposer qu'il n'a pas suffisamment examiné le serre-joint. Il est évident, en effet, que le boulon qui traverse et unifie les deux bouts de rails retenu entre les deux branches des griffes fixées elles-mêmes invariablement par un tire-fond, fait disparaître toute la crainte de translation longitudinale ; et si les serre-joints sont et demeurent immobiles, comment y aurait-il mobilité dans les intermédiaires?

Enfin pour dernière réponse aux remarques de M. Goschler, qui termine en disant que le système proposé se compose d'un trop grand nombre de pièces, M. Barberot se borne à constater que, dans les éclisses aujourd'hui en usage, on compte par joint 28 *pièces*, et que pour son serre-joint il n'en emploie que 22.

M. Richoux fait observer que les objections nouvelles faites par M. Goschler se réduisent en ceci : 1° la longueur des éclisses est insuffisante; 2° le boulon unique servant à la jonction des éclisses provoquera la dessoudure des abouts des rails.

Il est facile de répondre à ces objections qui sont solidaires. Le boulon ne peut agir sur les abouts des rails qu'autant que les éclisses ne remplissent pas leur fonction, c'est-à-dire qu'elles ne rétablissent pas la continuité des rails.

Cette continuité s'obtient soit en donnant aux éclisses une section telle que son moment de rupture ou son moment fléchissant soit égal à celui du rail, soit en leur laissant une section inférieure à celle déterminée par cette condition, mais en rapprochant assez les traverses pour que ces moments, par rapport aux appuis, soient les mêmes sur toute l'étendue de la voie. Les éclisses ordinaires ne peuvent remplir cet objet, car il faudrait pour cela que l'intervalle entre les points d'appui voisins du joint fût inférieur à la largeur d'une traverse ; mais il est bien évident, que la longueur à donner à l'éclisse n'entre pour rien dans la question et que son effet sera complétement réalisé, si son mode d'attache est tel qu'il ne lui permette pas de se voiler dans un plan perpendiculaire à la direction de l'effort fléchissant. D'où il suit que, dès que cette condition sera réalisée, la longueur de l'éclisse sera sans importance.

Le système Barberot permet-il de réduire la longueur de l'éclisse? là est la question.

Si nous prenons l'éclissage ordinaire à trois boulons, tel qu'il a été employé par M. Nordling, nous verrons que le pas des boulons étant assez fort, le desserrage de l'écrou se produit facilement, et alors les écrous les plus fatigués étant ceux des extrémités de l'éclisse, le voilement de cette pièce et sa flexion auront lieu avec la plus grande facilité, et que par suite les abouts des rails seront exposés à la dessoudure.

Si les éclisses ont quatre boulons, le même effet du voilement se produira, mais les extrémités des rails auront moins à souffrir, les trous étant déjà à une certaine distance des extrémités. Le système Barberot, à première vue, se rapproche de l'éclissage à trois boulons, en ce sens que le perçage des rails est effectué aux abouts; mais il en diffère notoirement, attendu que la pression des boulons extrêmes se trouve remplacée par la pression des extrémités de la griffe; tandis que les écrous des boulons sont sujets à se desserrer, la griffe ne le pourra pas, car son mode d'attache permet d'obtenir avec un effort assez faible sur le tire-fond qui sert à la fixer, une pression sur

l'éclisse, qu'on pourra varier à volonté, et rendre assez considérable pour empêcher le voilement de cette éclisse.

D'ailleurs, comme le fait observer M. Barberot, l'écrou de son boulon étant encastré dans la griffe, il serait impossible de le desserrer sans enlever d'abord cette griffe.

M. Richoux pense donc que c'est avec raison que M. Barberot a réduit la longueur de ses éclisses.

Séance tenue à Londres le 28 juin 1862.

Présidence de M. Tresca.

Sont présents : MM. Tresca, Salvetat, Petiet, Barbier, Calla, Thomas, Vegni et Ganneron.

M. Salvetat, faisant fonction de secrétaire, lit le procès-verbal de la dernière séance dont la rédaction est adoptée.

M. le Président prie Messieurs les membres de la Société, qui ont visité l'exposition de Battersea et ceux qui ont pu assister aux expériences de Farningham, de faire part aux membres présents de leurs impressions sur les systèmes à vapeur appliqués, dans ces circonstances, aux machines agricoles.

M. Calla constate qu'à son avis les machines à labourer se sont notablement améliorées : il regarde comme un perfectionnement réel le déplacement des poulies-treuils qui faisaient autrefois partie de la machine locomobile elle-même et qui maintenant forment des engins spéciaux qu'on adapte à la machine. Il croit ces perfectionnements de nature à répandre davantage le labourage à la vapeur ; une grande amélioration consiste, suivant lui, dans la disposition qui permet de ne pas déplacer le moteur ; mais il ne faut pas se dissimuler que les plus graves inconvénients proviennent de la dislocation prompte des outils, et de l'absence des moyens faciles de réparation. Il ne faut pas perdre de vue que ces machines doivent travailler, et ceci se rapporte autant aux machines de labour qu'aux autres machines agricoles, dans des moments donnés, et qu'on ne peut, sans porter un préjudice notable aux exploitations, retarder la mise en œuvre, pour avoir le temps de faire les réparations. Les machines compliquées sont donc une erreur ; celles qui nécessitent, pour être ou maintenues ou mises en bon état, l'intervention d'un mécanicien expérimenté, ne répondent qu'imparfaitement au but qu'elles doivent atteindre. Il y a donc lieu, tout en même temps qu'on répand les machines agricoles, de répandre aussi les petits établissements où pourront être faites toutes les réparations exigées par l'outil. M. Calla ne croit pas d'ailleurs à la nécessité des machines puissantes qui coûtent cher et ne peuvent qu'occasionner une dépense considérable absorbée par l'installation. Il préfère donc les petites locomobiles, mais avec cette réserve toutefois qu'on la puisse atteler à tous les travaux exigés par la ferme.

M. Calla regarde comme bonne en soi la disposition qui consiste à placer la machine au centre de quatre pièces à labourer. Il a vu qu'on avait singulièrement amélioré les accessoires de labour tels que treuils, poulies, câbles, ancres, etc., etc.

M. Tresca fait remarquer que les instruments qui fonctionnent à Farningham ne

peuvent être classés parmi les charrues proprement dites ; ce sont pour la plupart des scarificateurs ; le sol sur lequel ils agissaient, ainsi qu'il l'a remarqué conjointement avec M. Salvetat qui l'accompagnait, était sinon choisi, au moins dans des conditions qui ne se présentent pas toujours ; le terrain est résistant, couvert d'herbes, facilement accessible, et de plus presque horizontal. Néanmoins dans ces circonstances, les machines employées, celles de M. Fowler et de M. Howard, exigeraient encore une force de 14 chevaux. Sous ce rapport le desideratum de M. Calla est encore loin d'être satisfait, et bien plus, la tendance des expérimentateurs ne semble pas être dans cette voie.

De quelques chiffres fournis par M. Fowler, il résulterait que le labourage à la machine serait moins coûteux que la même façon à la main par la charrue ordinaire traînée par des chevaux. Ainsi, en supposant un labourage à deux façons fait au moyen d'un scarificateur, on n'arriverait pas au chiffre de 25 francs par hectare, prix du labour ordinaire.

M. Ganneron dit qu'il faut se tenir en garde contre les prix indiqués, qui ne peuvent rien avoir d'absolu. Il est convaincu que dans le département de Seine-et-Marne, pour ne prendre qu'un exemple, une seule façon reviendrait à 25 francs l'hectare. Dans d'autres localités, le double labourage pourrait peut-être coûter moins cher, mais dans tous les cas le labourage à la vapeur verra lui-même baisser ses prix : il regarde comme indispensable d'avoir des éléments d'appréciation plus complets et plus variés.

M. Salvetat ne pense pas qu'on puisse attendre prochainement des résultats avantageux du labourage à vapeur, en France au moins, et les expériences de Farningham lui paraissent mettre en évidence bien des inconvénients de ce système.

Tout en reconnaissant aux machines fixes l'avantage de permettre d'agir sur toute espèce de terrain, tout en admettant que les machines transportables se conduisent bien, le labour à vapeur ne peut être utilement appliqué qu'à des parcelles considérables, et la division territoriale s'oppose chez nous à ce que la propriété foncière soit avantageusement traitée mécaniquement.

D'ailleurs deux grands embarras résulteront toujours pour le travail à la vapeur : la nécessité d'être accompagné de combustible et d'eau. Cette dernière surtout peut faire défaut ou n'être procurée en pleine campagne qu'avec difficulté. Il y a donc intérêt pour les systèmes à proposer à rechercher la plus grande économie possible de combustible et d'eau. Y aurait-il à ce point de vue intérêt à augmenter les dimensions des machines au lieu de les diminuer?

M. Ganneron pense qu'il vaut mieux diminuer la force des machines et qu'on pourrait atteindre ce résultat en diminuant le nombre des sillons qui se creusent à la fois ; en général, en Angleterre les scarificateurs font quatre ou cinq sillons.

M. Tresca fait remarquer qu'une charrue de Smith fonctionnant à Battersea différait des autres, en ce sens que pour revenir parallèlement à elle-même on n'avait pas à la faire tourner, il suffisait de faire basculer les scarificateurs. Le changement de sens dans la traction de la chaîne achevait le retournement, et l'appareil était aussitôt disposé pour quatre sillons parallèles aux premiers. Cette disposition diminue la fatigue pendant la manœuvre et doit faire baisser dans une proportion considérable le prix d'établissement.

M. Thomas croit que l'excès de dépense d'acquisition pour une machine plus forte est un élément peu important de la question ; qu'il est vrai que tout cultivateur tiendra nécessairement compte des frais d'installation d'un labourage à vapeur, mais

que pour une grande exploitation ces frais se trouvent bien réduits, si tout le travail de la ferme se fait mécaniquement, par l'emploi de la même machine motrice aux divers services.

Mais il est un élément dont on n'a encore rien dit, et qui sera peut-être de nature à répandre, plus qu'on ne le croit, le labourage à vapeur. Cet élément, c'est la rapidité d'action. Personne n'ignore que le labourage, pour être utilement fait, doit l'être en temps propice, alors que le sol n'est ni trop humide ni trop sec. La vapeur offrira donc cet avantage d'être disponible au moment voulu et d'agir promptement, avant qu'un changement du baromètre ne rende impossible la terminaison du labour.

Le prix élevé des outils n'est pas une difficulté aussi sérieuse qu'elle le paraît, parce que plusieurs fermiers, même des plus modestes, peuvent se réunir pour acquérir en commun.

M. Tresca craint que le système, qui pourrait à la rigueur être remplacé par un louage, pour quelques propriétaires qui n'auraient pas voulu concourir au prix d'acquisition, ne présente quelques inconvénients, vu l'impossibilité de mettre à jour dit à la disposition du laboureur l'appareil réclamé simultanément par plusieurs fermiers.

M. Thomas répond qu'il ne partage pas ces craintes. Le système du louage est déjà répandu dans nos campagnes; et il citerait plus d'un point où les fermiers louent déjà des locomobiles pour le battage, le sciage, etc., etc., et même des locomobiles d'une force de 8 chevaux, attelées à des scarificateurs, qui sont employées par voie de louage à la grande satisfaction des locataires; mais c'est surtout aux opérations de la ferme proprement dite que les locomobiles sont plus spécialement affectées aujourd'hui.

M. Tresca fait observer que, du reste, les louages sont également en usage en Angleterre, qu'on les applique aux opérations agricoles, telles que le battage, le sciage, le vannage, etc., etc.; mais qu'on ne se trouve pas placé dans une aussi grande nécessité d'agir à jour donné que lorsqu'il s'agit du labour. Il suppose que, avec des machines fixes, les conditions climatériques convenables pour la culture sont moins impératives pour le labourage à la vapeur que pour le labour au moyen des chevaux, qui, pénétrant dans les sillons, s'y embourbent par des temps trop pluvieux.

M. Thomas ajoute qu'en outre des avantages qu'il a fait déjà ressortir de la culture à la vapeur, il convient d'ajouter celui, intéressant pour l'avenir, de pouvoir au besoin prolonger de plusieurs heures la journée ordinaire du labourage avec les moteurs animés, lorsque le ciel n'est pas couvert; en cas de ciel couvert, il n'est pas impossible d'avoir recours à la lumière électrique : il croit pouvoir estimer à deux cents le nombre des scarificateurs qui travaillent déjà par la vapeur en Angleterre. Néanmoins, il fait remarquer qu'à cette époque de l'année, où beaucoup d'opérations agricoles s'exécutent sur tous les points traversés par les lignes de chemin de fer, on ne voit guère pratiquer que les anciens moyens connus de travail à la main, fauchage, fanage, etc., etc.; bien que les parcelles soient considérables, et qu'elles présentent une horizontalité à peu près complète, sans accidents de terrains.

M. le Président, résumant la question, pense qu'il convient, pour rendre pratique le labourage à la vapeur, de prendre comme but à atteindre dans la confection des machines, l'économie du combustible, la moindre consommation d'eau, la facilité des réparations, surtout celles qui regardent les organes principaux.

M. Thomas indique, à cet égard, que les machines peuvent être perfectionnées, que chaque constructeur devrait avoir des pièces de rechange toutes faites, qui coûtent fort cher quand elles sont fournies par les forgerons qu'on a sous la main, et qu'on

pourrait plus économiquement faire demander à la fabrique pour les réparations courantes : il est convaincu qu'on tirera un très-grand parti d'alésoirs portatifs qu'on emploiera sur place pour restaurer les machines, au lieu de les renvoyer dans les ateliers pour en remettre en état les cylindres.

Il regarde comme beaucoup plus économique, par exemple, de remplacer un foyer détérioré que de chercher à le remettre en état par des réparations successives.

Il pense que les locomobiles françaises peuvent être rendues beaucoup plus légères; il voudrait pour cela une révision des règlements qui exigent une épaisseur exagérée dans les tôles employées à la confection des chaudières ; de là ce double inconvénient, surélévation dans les prix de construction, et poids trop considérable de l'appareil; de plus, les matières premières coûtent moins en Angleterre, de telle sorte que les locomobiles en France reviennent environ à 1 fr. 80 c. le kilog., tandis que celles fabriquées en Angleterre ne reviennent qu'à 1 fr. 40 c., ce qui constitue un écart d'environ 1/5e. En choisissant les exemples, il pourrait citer des machines pour lesquelles, à égalité de force, il y aurait un écart d'environ 1/3 entre les prix de revient résultant de ces deux causes.

M. Petiet ne pense pas que cet écart soit aussi considérable. Quant aux machines locomotives, il croit que dans les deux cas, en France comme en Angleterre, le prix de 1 fr. 90 c. le kilog. se trouve identique. Quant aux dispositions générales, il est évident que les locomotives comme les locomobiles sont d'autant meilleures qu'elles sont plus simples, et que, dans l'espèce, celle qui consommera le moins d'eau sera préférable.

M. Tresca pense qu'on poursuit en Angleterre la solution de ce problème. La tendance générale des constructeurs les conduit à surchauffer la vapeur pour économiser l'eau consommée. Le système Wenham, si les données expérimentales sont exactes, consommerait 10 kilog. d'eau par cheval et par heure, au moyen d'un surchauffage intermédiaire déterminé à la sortie du premier cylindre et avant son introduction dans le second cylindre à détente.

M. Thomas observe que la question du surchauffage de la vapeur n'est pas encore élucidée suffisamment. Depuis près de trente ans, il a vu préconiser et abandonner tour à tour la *surchauffe* de la vapeur pour la production de la puissance. Ce procédé, dont il s'est occupé dans le principe avec M. Laurens, a été appliqué à diverses époques à un assez grand nombre de machines, et il serait difficile d'en citer une seule aujourd'hui l'ayant conservé à cause des inconvénients résultant de la haute température. Les machines sans enveloppes présentaient une économie d'environ 15 à 20 pour 100 ; mais si l'on applique le même système aux machines à enveloppes complètes, l'avantage ne se chiffre plus que par une bonification de 5 à 8 pour 100 environ. L'enveloppe de vapeur du cylindre a donc paru presque prendre les mêmes avantages que le surchauffage.

Si avec les appareils installés sur les nouvelles locomotives du chemin du Nord, il y a bonification, il est possible de l'attribuer en partie à la plus grande surface de chauffe et à l'absence d'enveloppes aux cylindres ; ces locomotives ont en effet plus de surface de tubes chauffée. M. Thomas ajoute qu'avec plusieurs cylindres successifs on diminue les fuites; le surchauffage aurait alors indirectement comme résultat la diminution des pertes inhérentes à cette cause dans les machines de M. Wenham.

M. Calla, revenant aux expériences de Battersea, comme à celles de Farningham, fait remarquer que la traction sur les voies ordinaires, au moyen de la vapeur, fait d'incessants progrès; les locomobiles en mouvement sur le terrain des machines à

Battersea se croisaient en tous sens, il est vrai, sur un terrain résistant, et la *traction engine*, quoique lourde, peu économique, faible quant au résultat produit, marchait cependant. Il y a donc là bien certainement *un fait acquis*, qui doit être perfectionné, mais qui restera.

M. Tresca fait observer que la machine, non-seulement a fonctionné, mais même qu'elle a manœuvré sans trop de difficulté sur un terrain assez incliné. Il cite, au reste, une expérience dont il a été témoin avec MM. Faure et Salvetat : une machine puissante, dont les roues très-larges étaient armées de grappins, était employée dans les rues de Londres à remorquer sur la voie publique une chaudière avec ses bouilleurs, du poids total de 30,000 kilogrammes.

M. Petiet ne pense pas que ce système présente aucun avantage au point de vue de l'emploi du capital engagé.

Au surplus, il est inutile, vu la petite vitesse, de songer à l'appliquer à d'autre transport que celui des marchandises, et il est même douteux que ce mode d'exploitation puisse donner lieu à aucun avantage pratique, si ce n'est dans des conditions tout à fait exceptionnelles.

Séance du 7 Novembre 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. le Président fait part à la Société que M. Bianchi, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de la Légion d'honneur, et que MM. Guibal (Théodore) et Guérin de Litteau, également membres de la Société, ont été nommés chevaliers de l'ordre de Léopold de Belgique.

M. le Président informe également la Société de la perte qu'elle vient de faire d'un de ses membres les plus distingués, M. Jeanneney. Cet ingénieur, qui s'était beaucoup occupé de la construction des usines à gaz, a publié, dans le Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, un rapport remarquable sur les conditions dans lesquelles il convient de brûler le gaz pour en obtenir la plus grande quantité de lumière ; ses expériences sur l'influence d'une diminution de pression, à l'ouverture du bec, ont été le point de départ des différents appareils désignés depuis lors sous le nom de carburateurs, et dont l'industrie a déjà tiré un très-grand parti.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Verrine, sur le rapport de M. Eugène Flachat, sur les machines locomotives de l'Exposition de Londres.

M. Verrine n'ayant pas terminé sa communication, quant aux machines locomotives étrangères, le résumé de ce travail sera donné dans le compte rendu d'une séance prochaine.

L'ordre du jour appelle ensuite les trois communications de M. Weill : 1° sur *deux nouvelles matières tinctoriales rouge et jaune* provenant de Montevidéo ; 2° sur les *bitumes de Cuba ;* 3° sur les *huiles de pétrole de la Pensylvanie.*

M. WEIL indique que la matière tinctoriale rouge ou nouvelle garance, telle qu'il l'a étudiée, se présente sous forme de brindilles de racines d'une épaisseur de 1 à 2 millimètres et d'une longueur de 6 à 10 centimètres.

La coupe transversale de ces racines montre un cœur ligneux couleur rose-chair, revêtu d'une partie corticale rouge, très-mince, enveloppée d'une épiderme brunâtre.

La matière dont il s'agit se trouve en grande abondance à Montevidéo, mais jusqu'ici elle n'a été ni étudiée ni utilisée.

La racine, desséchée à 110 degrés centigrades, a perdu 13,5 pour 100 d'eau.

Après la dessiccation elle se prête facilement à la pulvérisation, et donne une poudre couleur rouge-brique, d'une saveur fade, légèrement amère.

Par l'incinération la racine a donné 8 pour 100 de cendres blanches.

M. WEIL passe ensuite en revue les actions de divers réactifs sur cette matière, et il en conclut que la matière colorante principale est de l'alizarine, renfermée dans la nouvelle racine, et qu'elle peut remplacer la garance dans la plupart de ses applications industrielles.

M. WEIL a procédé ensuite aux essais de teinture sur le coton et la laine. Il a reconnu que cette matière colorante ne se fixait pas sur le coton sans l'intermédiaire de mordants. Pour se rendre compte de la valeur de la nouvelle matière tinctoriale, M. Weil a préparé des bains de même richesse de la nouvelle matière et de la garance d'Avignon, et il est arrivé aux résultats suivants :

La garance nouvelle a donné des teintes d'intensité, d'éclat et de richesse au moins égales à celles des meilleures garances d'Avignon.

Les rouges et les roses produits par la garance nouvelle et les mordants d'alumine sont plus riches et plus vifs que les rouges et les roses de la garance d'Avignon.

Quant aux noirs, la garance d'Avignon, au contraire, a donné des nuances plus satisfaisantes.

Les couleurs puce, grenat et violet, dues à la garance nouvelle, sont au moins aussi belles que celles obtenues avec la garance d'Avignon.

Quant aux calicots traités, après teinture, au chlorure de chaux, ceux teints à la garance nouvelle ont été plus facilement décolorés que les coupons teints à la garance d'Avignon.

Les essais de teinture sur laine et soie ont donné pour la nouvelle garance des résultats de même richesse que pour la garance d'Avignon, à la différence que les nuances données par la première tirent plus sur le rose, tandis que celles de la dernière se rapprochent plus de l'orangé.

La matière colorante se fixe très-facilement sur les tissus de laine et de soie plongés dans un bain additionné d'un peu d'alun et de tartre.

Les tissus de laine et soie, préalablement mordancés à l'alumine, se colorent encore mieux au bain de teinture simple, maintenu à la température convenable.

Arrivant à la seconde partie de son Mémoire, ayant trait à une nouvelle matière tinctoriale jaune, M. Weil dit que cette matière se présente sous forme de racines de différentes longueurs, et d'un diamètre de 3 à 6 millimètres. L'intérieur du bois est d'un jaune citron uniforme ; l'extérieur est une écorce mince de couleur brune.

Par incinération 100 grammes de la racine ont donné 5,8 pour 100 de cendres blanches.

Desséchés à 100°, 100 gr. de la racine ont perdu 11,5 pour 100 d'eau.

Après avoir passé en revue les actions des divers réactifs sur cette matière colorante, M. Weil arrive aux essais de teinture qu'il a faits. Ces essais ont démontré que

la matière colorante de ce nouveau bois ne se fixe pas sur les tissus de coton, mordancés ou non mordancés, mais elle se fixe facilement sur la laine et la soie.

Sans mordant, et à une température de 30° à 100°, on obtient une belle coloration jaune des matières soie et laine qu'on a introduites dans la solution aqueuse.

Suivant les mordants employés, on obtient soit une teinte jaune, vive, soit une teinte plus foncée tirant sur le brun clair.

Les essais faits sur des tissus de laine et soie, teints en jaune par les divers réactifs ordinaires, apprennent que cette matière colorante présente plus de solidité que celle obtenue avec les bois jaunes déjà connus, puisqu'elle résiste aux alcalis, au chlore, au savon, etc.

Les caractères chimiques de ce nouveau bois jaune démontrent que la matière colorante qu'il renferme a beaucoup d'analogie avec la lutéoline renfermée dans la gaude (*Reseda luteola*).

Le nouveau bois pourra remplacer la gaude dans la teinture et l'impression des tissus de laine et de soie; mais il en diffère essentiellement en ce qu'il ne peut pas servir à la teinture des étoffes de coton.

M. Weil termine en indiquant que ce bois se rapproche du bois jaune de la Californie dont il a fait connaître les propriétés en 1858, quant à la teinture en jaune, sans l'intermédiaire de mordant.

M. Weil, passant à ses analyses des bitumes de Cuba, donne d'abord leurs compositions brutes; puis la composition du coke et celle de l'huile légère qu'on en obtient. Les essais ont porté sur deux bitumes, le premier a donné 52 pour 100 de coke, contenant plus de la moitié de son poids de cendres, et le second 41,66 de coke à 2 pour 100 de cendres seulement.

M. Weil indique ensuite la composition du bitume de Cuba, en produits d'une valeur commerciale. 100 kilogr. de bitume de Cuba peuvent donner, au moyen de distillations, épurations et rectifications successives :

1° 17k,230 d'huile limpide paraffinée;
2° 4 ,200 d'huile d'éclairage incolore de première qualité;
3° 0 ,800 d'hydrocarbure benziné;
4° 5 ,350 de paraffine brute (non compris la paraffine de l'huile paraffinée);
5° 3 ,050 d'eau ammoniacale;
6° 9 ,000 de gaz d'éclairage;
7° 27 ,870 de matières minérales.

Si on traite ce bitume par la benzine ou le sulfure de carbone, on obtient pour 100 kilog. de bitume 72k,130 de vernis brillant, à l'état desséché.

M. Weil termine en indiquant les applications suivantes des produits :

1° L'huile paraffinée peut servir à la confection d'une graisse convenable pour les grosses pièces des machines, ou à la fabrication directe de la paraffine, qui est employée maintenant à l'état de bougies;

2° L'huile d'éclairage sert avantageusement dans des lampes spéciales;

3° Les hydrocarbures volatils dissolvent le caoutchouc;

4° Les eaux ammoniacales peuvent fournir de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux;

5° Les produits gazeux serviraient de combustible à l'usine dans laquelle on préparerait ces différentes matières;

6° Le coke ne pourrait être employé au chauffage que quand sa teneur en cendres ne serait pas trop grande;

7° Les résidus de sa combustion pourraient servir d'engrais ou d'amendements;

8° Dans son état naturel ou au moyen de préparations simples, le bitume pourrait être employé à tous les usages de l'asphalte.

M. Weil termine par sa communication sur les huiles de pétrole; il indique d'abord leur composition brute.

Ainsi, 100 kilog. d'huile de pétrole, soumis à l'essai, donnent par la distillation :

1° Huile brute de couleur jaune, composée d'hydrocarbures liquides.	90k,14
2° Asphalte.	5 ,64
3° Gaz et perte.	4 ,22

La densité ou le poids du litre de cette huile est de 0k,82426.

En traitant ensuite les 90k,14 d'huile brute, pour les épurer, par la quantité convenable d'acide sulfurique concentré, on arrive à la composition suivante :

Huile épurée, limpide et incolore	73k,00
Goudron et perte	17 ,14
Total.	90k,14

L'huile brute a donc perdu par l'épuration un peu plus de 19 pour 100 de son poids, et l'opération ayant été faite avec plus de soin et d'attention que ne comporte le travail manufacturier, il faudra compter sur une perte de 23 pour 100 au moins, dans ce dernier cas.

L'huile ainsi obtenue doit être soumise à une distillation fractionnée, pour donner une huile légère et propre à l'éclairage, de qualité supérieure, de sorte que les 73 kilog. d'huile épurée donnent :

Naphte benzinée	4k,0
Huile d'éclairage presque incolore	55 ,0
Huile moins légère, paraffinée et colorée	12 ,0
Résidu charbonneux et perte.	1 ,3

D'après ce qui précède, on voit qu'en résumé 100 kilogr. d'huile de pétrole donnent en produits d'une valeur commerciale :

55k,00 d'huile légère et incolore, propre à l'éclairage, de première qualité;
4 ,00 de naphte benziné;
12 ,00 d'huile paraffinée;
5 ,64 d'asphalte.

Application des produits :

1° L'huile légère d'éclairage (55 pour 100 du poids du pétrole) à l'application que son nom indique.

2° Le naphte (4,7 pour 100 du pétrole) peut remplacer la benzine pour rendre plus éclairante la flamme du gaz ordinaire.

On pourrait aussi en retirer les deux parties d'hydrocarbure présentant les propriétés de la benzine et ajouter le reste à l'huile d'éclairage.

3° L'huile paraffinée (12 pour 100 du pétrole) peut servir à l'extraction de la paraffine destinée à la fabrication des bougies diaphanes et le reste épuré de nouveau à l'acide sulfurique, pour rentrer dans la fabrication de l'huile d'éclairage. On pourrait aussi en préparer une graisse pour machines.

4° Les 73 pour 100 d'huile épurée pourraient être employés comme une huile d'éclairage de qualité inférieure, brûlant dans des lampes spéciales à courant d'air.

M. Weil conclut de son travail que les résultats indiqués, obtenus d'une part par la distillation, l'épuration et la rectification de l'huile de pétrole, au moyen des pro-

cédés décrits ci-dessus, très-simples et facilement applicables à la fabrication sur une grande échelle, prouvent qu'il y a avantage à faire venir ce produit en France pour en extraire l'huile épurée d'éclairage et le naphte, ou bien l'huile d'éclairage de première qualité, le naphte avec l'hydrocarbure benziné, ainsi que l'huile paraffinée pour l'extraction de la paraffine.

Dans le cas où l'huile de pétrole ne reviendrait pas à 40 fr. les 100 kilogr., il est évident que la fabrication donnera des bénéfices, les frais d'élaboration ne pouvant s'élever au maximum qu'à 10 ou 15 fr. pour 100 kilog. d'huile épurée.

M. le Président, en remerciant M. Weil de ses communications, croit devoir indiquer que la fabrication des huiles minérales d'éclairage s'accroît d'une manière tout à fait extraordinaire. En France, on emploie les schistes pour la fabrication des huiles d'éclairage, en Angleterre on se sert des bog-heads et en Allemagne des lignites. M. le Président dit que les huiles de pétrole se sont jusqu'à présent moins répandues que les autres, parce qu'elles sont beaucoup plus inflammables et par suite plus dangereuses. L'huile légère de schiste et les autres produits analogues ont du reste une propriété très-curieuse; c'est qu'à la lumière qu'ils développent, on peut parfaitement distinguer le bleu du vert, et le rose du jaune, ce qui est impossible avec la lumière du gaz ou avec toute autre lumière artificielle; celle du schiste est beaucoup plus éclatante et plus pure.

Il s'est formé depuis quelques années seulement plus de cinquante de ces usines en Allemagne, et plusieurs d'entre elles sont déjà considérables.

En annonçant à la Société l'envoi des divers mémoires qu'elle a reçus depuis la dernière séance, M. le Président fait particulièrement remarquer que M. Bélanger, membre honoraire, a voulu lui adresser en manuscrit le travail qu'il vient de faire sur la théorie mécanique de la chaleur. M. le Président pense qu'il convient de remercier spécialement M. Bélanger, et il fait connaître les titres principaux du mémoire de ce savant professeur. Le mémoire sera immédiatement imprimé, et il pourra donner lieu à une discussion intéressante dans l'une des séances prochaines.

Séance du 21 Novembre 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. Verrine termine l'analyse du rapport de M. Eugène Flachat sur les machines locomotives de l'Exposition.

M. Faure appelle l'attention sur un passage où il est indiqué que les bielles en acier fondu de la machine Borsig ont été trempées avant le dressage; il demande quels peuvent être les avantages de cette méthode.

M. Dubied fait remarquer qu'on ne trempe, en général, que les pièces destinées à résister au frottement; les bielles, étant garnies de coussinets, ne se trouvent pas

dans ce cas; il serait donc nécessaire d'indiquer quel but on s'est proposé dans cette opération.

M. Nozo dit que les bielles s'usant au contact des coussinets et des contre-clavettes, dès lors il est bon de tremper en paquet les têtes de bielles, afin qu'elles résistent à l'écrasement et au maculage. Il serait très-intéressant de connaître exactement la provenance de l'acier employé dans la machine Borsig, et de savoir comment cet acier a été travaillé. En Angleterre, on trempe certaines pièces en les martelant jusqu'à refroidissement, en présence de l'eau; quelquefois même on les plonge dans l'eau; on les recuit ensuite, et la ténacité se trouve augmentée.

M. Dubied croit la trempe nécessaire, dans les machines bien soignées, pour les pièces de fer soumises, non pas seulement à des frottements, mais encore à des chocs et à des manœuvres fréquentes de montage et de démontage, dont l'effet est de maculer leurs surfaces. La trempe au paquet, employée dans ce cas, a pour objet d'aciérer ces pièces à 1 ou 2 millimètres de profondeur, et de les protéger, par la dureté qu'elle communique à leur surface, contre les effets de déformation signalés plus haut, et auxquels toutes pièces des machines sont exposées. Mais ce qu'il est essentiel de remarquer, c'est que ces pièces conservent à l'intérieur toutes les qualités du fer. Il n'en est pas de même des pièces d'acier que la trempe pénètre et durcit à cœur en augmentant peut-être leur résistance absolue, mais en diminuant leur résistance élastique, et en leur enlevant la propriété de supporter les chocs répétés.

M. Limet confirme l'observation de M. Nozo en ajoutant que, quoique cela ne soit pas encore passé dans la pratique, il est incontestable que la trempe de l'acier, lorsqu'elle est suivie d'un recuit convenable ou encore mieux d'un véritable corroyage, a pour but d'augmenter singulièrement la ténacité. Une série de trempes et de corroyages successifs est certainement la meilleure préparation et la plus sûre épreuve qu'on puisse faire subir à une pièce d'acier lorsqu'elle doit offrir le maximum de résistance et de sécurité.

Il est évident que cela doit avoir lieu avant que la pièce ait reçu sa forme et ses dimensions définitives. La pièce terminée, on lui donne la dureté convenable par une dernière trempe, suivie du recuit convenable à sa fonction. On peut affirmer que tout acier de qualité inférieure, soit par défaut de la matière, soit par défaut d'homogénéité, ne résistera pas à cette épreuve.

M. Dubied répond que la trempe amenant une déformation des pièces, déformation à laquelle on ne peut remédier que par des procédés très-coûteux, il y a lieu de ne l'appliquer que là où elle est vraiment indispensable; de là l'utilité de préciser le fait signalé dans la communication de M. Verrine.

M. Faure a remarqué que M. Flachat demanderait l'admission des machines-outils anglaises au droit du fer; il pense que les machines construites en France ne présenteraient aucune infériorité, et que le but proposé serait atteint si l'on pouvait combattre la tendance des constructeurs français à n'engager qu'un capital insuffisant dans leur outillage.

M. Nozo répond que si l'on pouvait introduire en France les machines anglaises aux conditions indiquées, la concurrence en ferait généraliser l'usage et amènerait de grandes économies dans la main-d'œuvre.

M. le Président pense que ce côté de la discussion, malgré le grand intérêt qu'il présente, ne devrait être abordé qu'en seconde ligne, après l'examen des questions techniques que soulève le rapport de M. Flachat, examen qui devra d'ailleurs être ren-

voyé à la prochaine séance, afin que l'analyse de M. Verrine puisse être préalablement imprimée et distribuée.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Mathieu sur le procédé Bessemer.

M. Mathieu donne communication de l'état où est aujourd'hui, en France, la fabrication de l'acier par le procédé Bessemer.

Cette communication est faite à la suite d'une visite à l'usine de Saint-Seurin, à laquelle ont pris part plusieurs ingénieurs de chemins de fer, sur l'invitation que leur avait adressée M. W. Jackson; elle résume par conséquent les impressions et les faits constatés sur place.

Parmi les usines françaises qui ont traité avec M. Bessemer pour l'application de son procédé, on compte : MM. Jackson, de Saint-Seurin, MM. de Diétrich, MM. Petin et Gaudet, M. Schneider, du Creusot, les forges de Fourchambault, etc., M. Verdié, etc.

MM. Jackson ont fait, en France, les premiers essais du procédé Bessemer; ces essais paraissent aujourd'hui couronnés d'un plein succès. MM. Petin et Gaudet viennent de commencer cette fabrication, et l'ont de suite installée sur un pied considérable; MM. de Diétrich se préparent à recevoir les appareils que doit leur livrer M. Jackson. En présence d'un développement aussi considérable, il ne peut pas être indifférent à la Société des Ingénieurs civils de suivre et de connaître où en est arrivée chez nous cette importante question.

Les communications faites à la Société, l'une, il y a environ un an, par M. Chobrzinski, montrait qu'à ce moment la fabrication avait encore un grand caractère d'incertitude, et les produits obtenus portaient également un grand caractère d'irrégularité. C'était par la décarburation complète, ou arrêtée à un certain moment de l'opération, qu'on obtenait du fer ou de l'acier. La dernière communication, faite par M. Cahen, en juin 1862, indique les grands progrès faits en Angleterre, et en particulier dans l'usine de M. Brownn.

Chez M. Jackson, où on ne veut faire que de l'acier, l'opération se caractérise par une décarburation complète de la fonte employée, et par une récarburation du métal obtenu.

Cette récarburation est faite par l'addition d'une fonte blanche manganésifère (fonte de Musen, en Prusse), qui doit donner au métal obtenu les propriétés aciéreuses qu'on veut obtenir.

C'est là la voie nouvelle dans laquelle, paraît-il, on est entré. Est-elle meilleure, est-elle plus sûre que la précédente? Jusqu'ici les résultats obtenus ont été satisfaisants.

En outre, les essais faits à Saint-Seurin sur un grand nombre de fontes françaises ont également donné des produits satisfaisants; ce sont les fontes au coke de Fumel, les fontes au coke de Montluçon, les fontes au bois et au coke des environs d'Alençon, les fontes au bois du Périgord et celles d'Allevard.

Un échantillon de tous ces produits a été remis à la Société par M. Mathieu, l'envoi en est dû à l'obligeance de M. Jackson.

Les essais faits à Saint-Seurin ont encore montré qu'il était également possible d'obtenir, par le procédé Bessemer et avec chaque nature de fonte, de l'acier à tous les degrés de dureté, depuis l'acier très-dur trempant très-vivement, jusqu'à l'acier très-doux prenant à peine la trempe. Ces résultats, qu'on obtient avec les méthodes ordinaires, s'obtiennent avec des écarts moins grands par la méthode Bessemer, tout en laissant aux produits les caractères spéciaux des fontes dont ils proviennent.

Mais de quelle façon s'obtiennent ces produits? Mélange-t-on les fontes entre elles?

Dans quelle proportion les mélange-t-on? Dans quelle proportion fait-on intervenir la fonte blanche? A quel degré de carburation ou de décarburation s'arrête-t-on?

Ajoute-t-on à la matière en fusion des scories, des oxydes métalliques, etc.? Toutes ces choses ne nous ont pas été divulguées ; mais le caractère des directeurs de l'usine de Saint-Seurin ne nous permet pas de douter qu'elles n'aient été résolues.

Quant au résultat pratique et industriel, il n'est plus douteux, et quant à sa fixité, l'expérience seule peut prononcer.

En ce qui touche à l'avantage de l'acier Bessemer sur l'acier fondu ordinaire, il réside dans un prix de revient laissant à son avantage un écart de 120 à 150 fr. par tonne d'acier en lingot, dont une part a sa source dans la suppression de manutentions pénibles et dangereuses, puisque les derniers appareils Bessemer, construits par MM. Petin et Gaudet, contiennent jusqu'à 5,000 kilogr. qu'on peut enlever dans une seule poche, ce qui n'est obtenu dans les procédés de fusion ordinaire que par la réunion dans une même poche d'un grand nombre de creusets contenant seulement de 20 à 25 kilogr., qu'il faut sortir des fours chacun isolément.

L'exposition de M. Krupp, à Londres, a montré des masses de 20,000 kilogr. obtenues d'un seul bloc; mais des masses semblables ne peuvent être coulées ainsi qu'avec de l'attention, des soins particuliers et beaucoup de manutentions.

Les appareils employés par M. Jackson et par MM. Petin et Gaudet pour produire l'acier Bessemer ne diffèrent pas dans leur ensemble de celui que M. Grüner a fait connaître dans les *Annales des Mines* en 1861 ; mais la capacité en a été augmentée.

Le premier appareil de M. Jackson était de 1,000 kilogr. ; il en a installé un deuxième de 3,000 kilogr., et MM. Petin et Gaudet en ont monté deux de 5,000 kilogr. chacun.

En résumé, nous devons constater aujourd'hui dans la fabrication de l'acier par le procédé Bessemer, en France :

1° Un changement dans le mode de fabrication ;

2° La certitude qu'un certain nombre de fontes françaises sont aptes à produire de l'acier par ce procédé;

3° Qu'on peut à volonté obtenir avec la même fonte tous les degrés d'aciération que l'industrie réclame;

4° Que le développement actuel de la fabrication en France est tel, que dans peu de temps bon nombre de nos grandes usines à fer et à acier en auront fait l'installation sur une grande échelle.

M. Faure dit qu'il serait intéressant de connaître les fontes qui ont produit les échantillons présentés par M. Mathieu.

Ainsi, dans l'usine anglaise de M. Brown, la demi-tonne de fonte ajoutée à la fin de l'opération dans les appareils de trois tonnes est d'une qualité toute spéciale; il pense que le rôle de cette fonte ne se borne pas à une simple récarburation. De plus, en ce qui concerne les prix de revient, il ne leur paraît pas possible d'établir une comparaison entre l'acier fondu de cémentation, par exemple, et ce qu'on appelle encore en Angleterre *métal Bessemer*.

M. Jordan pense qu'il doit y avoir erreur dans l'indication de 5 atmosphères comme pression du vent; en général cette pression ne dépasse pas 70 centimètres de mercure.

M. Thomas dit, à l'appui de cette observation, qu'il n'est pas possible, à moins d'appareils spéciaux, de comprimer l'air à 5 atmosphères; les machines livrées d'Angleterre à l'usine de Saint-Seurin ont été établies pour un maximum de 2 atmosphères et demie.

M. Mathieu répond que cette indication lui a été donnée à l'usine, mais qu'il n'a pu la contrôler.

M. Limet fait observer que tout le monde a pu remarquer en Angleterre qu'un des caractères saillants du procédé Bessemer était la fragilité des lingots, d'où un étirage difficile et parfois impossible, outre les déchets inévitables qui en résultent.

Il serait donc très-curieux de savoir, au point de vue de la cause de cette fragilité, si M. Mathieu a observé les conditions de l'étirage chez M. Jackson.

M. Mathieu donne le chiffre de 350 francs comme prix de la tonne d'acier Bessemer chez M. Jackson, ce qui est d'accord avec ses évaluations, *mais pour de l'acier en lingots de* 300 *kilogr. environ et jusqu'à présent seulement convenable pour la fabrication de rails ou pièces similaires*; or, pour établir une comparaison, il faudrait : 1° ajouter à ce prix celui de l'étirage en pièces de dimensions déterminées; 2° indiquer les qualités relatives de ces aciers ainsi étirés.

M. Goschler fait remarquer que, d'après les indications de M. Mathieu, on emploierait à Saint-Seurin toute espèce de fonte; mais M. Frémy avait dit que ces fontes devaient subir une préparation; il serait utile de savoir en quoi consiste cette préparation.

M. Mathieu fait observer, en réponse à M. Limet, qu'on obtient couramment des engrenages, des bielles, des pointes de croisement et autres pièces façonnées en acier fondu, non martelé; il pense qu'on peut couler de même le métal Bessemer, mais il n'a pas entendu établir une différence, à cet égard, en faveur de ce dernier produit.

M. Limet fait remarquer que M. Mathieu annonce que le procédé Bessemer permet de couler d'un seul jet de grandes pièces à un prix de revient très-bas, en évitant d'avoir recours à un nombre considérable de petits creusets, comme dans la fabrication de l'acier fondu par les procédés ordinaires. Mais il ne dit pas comment on obvie à la fragilité de l'acier Bessemer, qui a été telle jusqu'à présent, qu'elle n'a pas permis de couler en lingots au-dessous de 2 à 300 kilogr. et qui ne pourrait permettre *de couler des pièces finies* ne devant pas subir un corroyage ultérieur.

Il est donc très-intéressant que les observations de M. Mathieu puissent répondre à ces objections, sinon par la description des procédés de M. Jackson, au moins par la constatation et la certitude des résultats qu'il énonce.

M. Dubied dit qu'on n'est pas encore parvenu, en France, peut-être même partout ailleurs, à obtenir des pièces en acier fondu non martelé, de forme compliquée, exemptes de soufflures ou au moins de piqûres; il croit que la fabrication de pièces de formes quelconques en acier fondu, et coulé dans des moules, est encore un problème du plus haut intérêt, il est vrai, mais qui n'est pas résolu d'une manière complétement satisfaisante.

M. Jordan aurait de nombreuses observations à présenter sur le mémoire de M. Mathieu, parce qu'il n'y est pas tenu compte de plusieurs publications récentes d'un grand intérêt; si la discussion devait être limitée à la présente séance, il se bornerait à l'examen de quelques questions principales, mais il pense qu'il vaudrait mieux y consacrer une séance spéciale.

M. le Président appuie cette proposition, qui est adoptée.

M. Faure commence l'analyse des mémoires qui ont été adressés à la Société sur la navigation à vapeur appliquée aux canaux. La suite de cette communication, qui est écoutée avec le plus grand intérêt, est renvoyée à la séance prochaine.

Séance tenue à Londres, le 12 Juillet 1862.

Présidence de M. TRESCA.

Sont présents à la séance : M. Tresca, Achard, Vuillemain, Charpentier, Mesmer, de Mastaing et Barthélemy, membres de la Société; Invités, M. Luuyt, Vegni, de Bussière et Villermé.

M. Charpentier et M. Vuillemain font part à la réunion de leurs appréciations sur l'exposition des produits métallurgiques. Les progrès réalisés sont considérables, particulièrement en ce qui concerne la fabrication des gros fers et des aciers puddlés.

Il n'est pas bien certain que la qualité des produits exposés soit absolument conforme à celle de la fabrication courante, et malgré cela M. Vuillemain fait remarquer qu'en ce qui concerne les bandages, les prix de vente sont plus élevés en Angleterre qu'en France.

Le développement du procédé Bessemer, les grandes et belles pièces d'acier fondu de Krupp et la fabrication courante des plaques de bordages sont parmi les faits les plus importants.

Pour marteler les grandes masses d'acier, M. Krupp se sert déjà de pilons de cinquante tonnes, et les cassures conservées à l'Exposition montrent bien comment le grain s'améliore à mesure que le martelage est plus prolongé.

Quant à la préparation des plaques de bordages, deux procédés bien distincts sont en présence. M. Brown préfère l'emploi de laminoirs à deux cylindres seulement, et il fabrique exclusivement par ce moyen; les bords sont ensuite coupés, et les défauts de soudure qu'on y remarque sont bien faits pour démontrer que l'emploi de quatre cylindres, en dressant ces bords, ne ferait que masquer ces inconvénients sans y apporter remède.

M. LE PRÉSIDENT demande si ces défauts d'adhérence entre les diverses couches n'a pas une influence favorable en ce qu'il doit s'opposer à la transmission facile des vibrations. MM. Petin et Gaudet ont, pense-t-il, fabriqué des plaques ainsi formées à dessein, par la superposition de couches différentes.

M. CHARPENTIER indique l'opinion de l'artillerie française qui est favorable aux plaques fabriquées en France, et il croit que l'emploi des laminoirs à quatre cylindres peut donner de très-bons résultats.

M. VUILLEMAIN pense que les plaques forgées sont beaucoup meilleures que les plaques laminées, mais leur prix est notablement plus élevé.

M. CHARPENTIER a remarqué la plaque à double T de Butterley, dont il a déjà été question dans les précédentes réunions, et il lui paraît hors de doute qu'elle a été obtenue par le soudage de trois pièces préparées à part, savoir : la plaque de tôle qui constitue le corps de la pièce, et deux fers à simple T, de hauteur ordinaire, et obtenus au laminoir par les procédés courants.

Quelques détails sont donnés sur le *Graving-Dock* de M. Clark, que plusieurs membres ont vu fonctionner aux docks Victoria; rien n'est plus remarquable que cette méthode de soulever hors de l'eau un navire entier, au moyen d'un *chaland* sur lequel on a disposé les cales convenables pour en épouser les formes, et qui lui-même est porté sur une série de poutres transversales supportées par les pistons d'autant de presses hydrauliques. La 6e livraison du *Catalogue illustré* contient une image assez intelligible de cette belle installation.

M. DE MASTAING établit une comparaison entre les machines de bateaux exposées par l'Angleterre et celles qui sont construites en France.

Il entre dans des considérations détaillées, d'où il résulte que, sous le rapport du tonnage, la condition la plus importante est celle de la réduction de la consommation. Les constructeurs anglais n'emploient pas d'enveloppes; les détentes ne sortent pas des limites que l'on peut raisonnablement obtenir avec la coulisse de Stephenson, et, tout en reconnaisant les mérites de l'exécution du travail anglais, il se prononce en faveur de la construction française. On n'est parvenu à obtenir un groupement convenable qu'en simplifiant la machine dans le nombre de ses organes, ou en diminuant outre mesure les dimensions des condenseurs, ce qui doit nécessairement entraîner à une augmentation notable dans la consommation du combustible.

La machine exposée par la compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée lui paraît admirablement groupée, et si elle était vue dans le bateau même, on reconnaîtrait qu'un espace suffisant y est réservé pour la visite et le démontage.

Des renseignements nombreux sont échangés, quant à l'idée suivie simultanément en France et en Angleterre, de l'emploi de machines de Woolf, à trois cylindres, avec rechauffage intermédiaire; c'est là, sans doute, un des faits les plus importants en ce qui concerne les machines de mer.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que si le surchauffage doit produire pratiquement de bons résultats, c'est surtout lorsqu'on le limite à la température de la vapeur dans la chaudière. On évite ainsi les inconvénients qui ont été reconnus en maintes circonstances dans l'emploi des appareils surchauffeurs.

Malgré les difficultés qu'il présente dans l'application, l'emploi de la vapeur surchauffée est appliquée dans des conditions qui paraissent favorables aux machines locomotives du chemin de fer du Nord.

M. VUILLEMAIN signale la tendance des constructeurs anglais vers l'emploi des appareils fumivores pour les machines locomotives; le système Mac-Connell, à grande chambre de combustion, lui paraît très-rationnel; la disposition de M. Tembrinck est, sur le chemin de l'Est, une solution très-complète de la question, et malgré la présence dans le foyer même d'un petit bouilleur supplémentaire, l'expérience a prouvé que les frais d'entretien étaient vraiment minimes. Les compagnies des chemins de l'Est et d'Orléans se proposent de donner une grande extension à l'application des foyers Tembrinck.

M. MESMER a examiné avec soin les machines-outils de l'Exposition, et les progres qu'il a constatés, surtout au point de vue des détails, lui paraissent très-remarquables. Il y a, en Angleterre, une tendance très-marquée et très-recommandable vers la spécialisation des outils, et bien que les dispositions rappellent, en général, celles que nous connaissons déjà, cette condition s'est fréquemment traduite par de réels perfectionnements. Aucune machine n'est mieux appropriée à sa destination que celle destinée au rayage des canons, et cette perfection se remarque dans tout l'outillage de la nouvelle fabrication de Woolwich.

Quant aux machines à travailler le bois, M. Mesmer trouve qu'elles sont en général fort compliquées dans leurs détails; elles occupent pour la plupart plus de place que les machines analogues que nous construisons en France.

M. BARTHÉLEMY annonce à la Société qu'il lui présentera, à propos de l'Exposition, un travail spécial sur l'emploi des matériaux incombustibles dans les théâtres.

Une discussion s'engage sur le mode de construction du pont de Lambeth, dans lequel les faisceaux ordinaires des tiges de traction ont été remplacés par des cordes

métalliques, formées chacune de sept torons de sept fils. On a obtenu par ce mode de construction une stabilité remarquable, et le tablier n'est soumis à aucune des oscillations, si fréquentes dans les autres modes de construction.

M. Luuyt donne quelques détails sur le pont de Battersea, dont le mode de construction demanderait à être comparé, sous le rapport de la résistance des pièces, aux autres systèmes.

M. le Président annonce que cette séance est la dernière de celles que la Société pourra tenir à Londres; il remercie les membres qui y ont assisté, et il exprime l'espoir que ces réunions n'auront pas été improductives, un assez grand nombre de nos collègues ayant promis de réunir, dans des mémoires spéciaux, les résultats de leurs observations.

La Société remercie M. le Directeur du Musée de Kensington de la bienveillance avec laquelle il a mis un local à sa disposition pour ses réunions hebdomadaires.

Séance du 5 Décembre 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. le Président rappelle à la Société la perte qu'elle vient de faire de l'un de ses membres les plus assidus et les plus dévoués. M. Degousée a servi son pays sous les drapeaux et dans les assemblées politiques avec distinction; il a porté dans ces fonctions diverses cette sévère probité et cette bienveillance dont nous garderons tous le souvenir. L'un des fondateurs de la Société des ingénieurs civils, M. Degousée en a suivi tous les travaux, tantôt comme vice-président, toujours comme membre du comité. Ses travaux industriels sont connus; il a plus que personne contribué aux améliorations et au développement de l'art des sondages; les nombreuses recherches qu'il a exécutées en France, au Sahara, en Égypte et ailleurs, lui ont permis de publier, en parfaite connaissance de cause, son *Guide du Sondeur*, qui, complété dans une nouvelle édition, avec la collaboration de M. Laurent, son gendre, forme certainement l'ouvrage le plus complet et le plus instructif qui ait été publié sur la matière.

M. le Président annonce aussi le décès de M. Mouillard, membre de la Société, chef du mouvement au chemin de fer du Nord de l'Espagne.

L'ordre du jour appelle la communication sur la conservation des bois, au moyen de la carbonisation.

M. Barrault (Alexis), après être entré dans quelques détails sur ces procédés, demande que la parole soit donnée à M. Schwaeblé, qui a suivi les expériences déjà faites.

M. Schwaeblé présente à la Société, de la part de M. de Lapparent, plusieurs exemplaires d'une brochure intitulée : *Du dépérissement des coques des navires en bois et autres charpentes ou bois d'industrie et des moyens de le prévenir*, par M. de Lapparent, directeur des constructions navales et du service des bois de la marine, publiée avec l'autorisation de Son Excellence le ministre de la marine.

Le moyen indiqué dans cet ouvrage, pour la conservation des bois, dit M. Schwaeblé, consiste à en carboniser les surfaces sous l'action d'un jet de gaz enflammé ; ce procédé est simple, applicable à toutes les essences de bois, et il est facile, en dirigeant convenablement le jet de gaz, de pénétrer dans toutes les fentes, dans toutes les fissures, de manière que l'intérieur des bois soit protégé par une couche noire, carbonisée, qui s'opposera à la fermentation, à la végétation cryptogamique et aux attaques des insectes xylophages. Il se produit, en effet, sous cette couche carbonisée une seconde couche brunâtre, torréfiée, c'est-à-dire en partie distillée, dans laquelle se trouvent développés des produits empyreumatiques et créosotés qui sont d'excellents agents antiseptiques.

Ce mode de conservation des bois, dont l'efficacité a été reconnue depuis des siècles, permettra de conserver les bois qui ne peuvent s'injecter, tels que le pin et le chêne, et augmentera la durée des bois injectables ; car le sulfate de cuivre, quels que soient les moyens mécaniques employés pour le substituer à la séve, ne pénètre jamais complétement, et, dans tous les cas, il est partiellement entraîné par les eaux pluviales, par un phénomène semblable à celui de l'endosmose.

M. Schwaeblé dit qu'il ne peut encore donner un prix de revient commercial et définitif, mais qu'il peut indiquer les prix obtenus dans les essais. Il résulte des expériences faites par M. de Lapparent, à Cherbourg : « qu'on peut admettre que, dans un travail courant, la dépense ne dépasserait pas $0^f,15$ par mètre carré ; de sorte qu'une traverse de chemin de fer, ayant les dimensions suivantes, $2,70 \times 0,13 \times 0,26$, présentant une surface enveloppe de $2^{m.q.},20$, serait carbonisée pour $0^f,33$, soit environ $0^f,40$, en ajoutant 20 pour 100 pour frais divers. Les expériences faites par l'amirauté anglaise, avec le gaz de l'éclairage coûtant seulement $0^f,14$ le mètre cube, il est vrai, ont donné un prix de revient de 0,10 par mètre carré, soit 0,22 pour carboniser une traverse des mêmes dimensions que la précédente.

La carbonisation des bois, telle que nous la comprenons, n'est donc plus seulement à l'état de projet, on l'a déjà appliquée : Son Excellence le ministre de la marine, reconnaissant tout le parti qu'on pouvait tirer de cette idée, a fait installer des appareils propres à carboniser les bâtiments en chantier dans nos ports militaires ; l'amirauté anglaise, comme nous le disions plus haut, s'occupe activement de cette invention : nous attendons les résultats définitifs ; enfin, la compagnie du chemin de fer d'Orléans a préparé ainsi une grande quantité de traverses qui ont été posées entre Vierzon et Bourges.

En ce qui concerne l'efficacité du procédé, il n'est pas possible encore de donner des résultats remontant à une époque éloignée.

Pourtant, M. de Lapparent ayant placé pendant trois mois, dans une fosse à fumier, deux morceaux de bois identiques, sauf que l'un était resté dans son état naturel, tandis que l'autre avait été préparé, le premier a été trouvé presque complétement désorganisé, tandis que l'autre était à peine atteint.

Nous ajouterons que la carbonisation à l'aide du chalumeau à gaz serait un moyen puissant et efficace de désinfecter les cales des navires qui reviennent de campagne, en

permettant de brûler les miasmes et les germes qui sont logés dans le bordé de la cale.

Nous ne doutons pas qu'il ne soit possible d'effectuer la carbonisation des bois à un prix relativement très-bas; on pourra, au lieu du gaz de l'éclairage, employer un autre gaz comburant, tel que l'oxyde de carbone, par exemple, et disposer convenablement les jets enflammés et les pièces de bois, suivant les cas; le problème est actuellement à l'étude, et nous espérons donner prochainement une solution complète de cette importante question d'économie industrielle.

M. Richoux reconnaît que les procédés par infiltration ne réussissent pas sur le bois de chêne, et que, pour cette essence, il y aurait amélioration par l'emploi du procédé par carbonisation. Mais il ne croit pas à l'avantage qu'on aurait à l'employer pour les bois tendres, tels que le pin, le sapin, le hêtre, qui poussent très-rapidement et qui se laissent parfaitement pénétrer.

En ce qui concerne les prix de la carbonisation, qui ont été indiqués, ils lui semblent beaucoup trop bas.

D'après les expériences faites et consignées par M. de Lapparent, on obtient avec une lance moyenne alimentée par $\frac{1}{2}$ manœuvre les résultats suivants :

Consommation du gaz par mètre carré.	200 litres.
Surface carbonisée par un ouvrier en 10 heures.	40 mètres.

D'après ces documents le prix de revient de 100 traverses carbonisées pourrait se décomposer comme suit :

Les traverses ont en moyenne $2^m,75$ de long et un équarrissage de 0,13/0,30 soit une surface de $2^m,44$.

Matières.

Gaz à raison de 200 litres par mètre carré, pour 240 mètres, 48 mètres cubes à $0^f.30$.	14 fr.	40

Main-d'œuvre.

1 surveillant.	5	00
6 carboniseurs (faisant 40 mètres par 10 heures, soit 240 mètres carrés, soit 100 traverses), à 4 francs l'un.	24	00
3 Souffleurs, à 2 francs l'un.	6	00
1 équipe de manœuvres, payée à la tâche (pour décharger, transporter et empiler les traverses), à raison de 6 francs le 100 (prix ordinaire).	6	00

Frais divers.

Entretien des appareils.	1	00
Droit de brevet, $0^f,10$ par traverse.	10	00
Total.	66 fr.	80

En admettant qu'on puisse réduire le prix du mètre de gaz à $0^f.20$, la dépense monterait à $61^f.60$; soit $0^f.66$ ou $0^f.61$ par traverse.

Hartig, célèbre forestier allemand, a reconnu que les pieux simplement carbonisés ne se conservaient pas, alors même que la carbonisation de la partie enterrée atteignait une profondeur de 4 à 5 millimètres. Hartig ajoute que ces mêmes bois se conservent parfaitement lorsque après la carbonisation on les enduit de trois ou quatre couches d'une substance imperméable telle que le goudron.

Il y a en effet deux sortes de pourriture, l'une qui procède de l'extérieur à l'intérieur et qui peut être attribuée aux germes des champignons disséminés dans l'air ou dans le sol ; l'autre qui suit une marche inverse et qui tient à ce que trop souvent les bois trop âgés, ou sur le retour, comme disent les forestiers, commencent à se décomposer par le cœur qui, on le sait, est formé des couches les plus anciennes.

Pour s'opposer à la première, il faut éviter le contact de l'air, l'humidité et une température modérée. La seconde cause de pourriture ne peut être évitée qu'en portant au cœur un agent capable d'arrêter la décomposition.

On voit donc que la carbonisation superficielle ne peut s'opposer à la seconde cause de pourriture, mais qu'elle doit détruire les germes des champignons qui pourraient exister à la surface du bois, et s'opposer dans une certaine mesure à leur fixation. Mais le charbon comme tous les corps poreux favorise la condensation des gaz et peut, dans un grand nombre de circonstances, entretenir autour du bois une atmosphère d'acide carbonique très-favorable à la fermentation. C'est ce qui peut expliquer la nécessité de l'enduit imperméable recommandé par Hartig.

Knowles rapporte que pour connaître les effets de la carbonisation superficielle, on fit en bois carbonisés une partie des couples du navire le *Duntless*, ainsi qu'une partie de son bordage et que le bâtiment lancé en décembre 1808, puis examiné au mois de mars 1814, présenta quelques pièces de sa membrure et quelques-uns de ses bordages carbonisés, dans un état complet de décomposition et couverts de champignons.

Il est vrai, ajoute Knowles, que les bois destinés à ce navire n'avaient été que très-légèrement carbonisés, car autrement leur résistance eût été trop affaiblie.

Il ne faut donc pas croire qu'on puisse remplacer toujours les procédés de préparation actuellement en usage par une carbonisation superficielle.

Hâtons-nous de dire que M. de Lapparent ne propose d'appliquer son procédé qu'aux bois de chêne (abattus en saison convenable, purgés d'aubier et de séve), et faisons remarquer que ces bois sont à peu près réfractaires aux procédés de préparation actuellement en usage. M. de Lapparent conseille également son procédé pour les bois préparés au sulfate de cuivre, parce que, dit-il, leur pénétration est souvent incomplète. Pour nous, nous regarderions cette pratique comme trop coûteuse ; inutile d'ailleurs pour les préparations bien faites, elle deviendrait, pour dissimuler les mauvaises, un auxiliaire par trop commode.

La carbonisation superficielle est inutile pour les préparations bien faites ; en effet, le sulfate de cuivre introduit dans les bois ne court pas le risque d'en être chassé par endosmose comme le craint M. de Lapparent. Il est fixé lorsque la préparation est faite convenablement, c'est-à-dire avec un bon courant de vapeur, un vide convenable et des dissolutions chaudes et fixé à ce point que le bois contient de fortes proportions de la matière préservatrice alors même qu'il a été réduit en sciure et soumis à des lavages à l'eau chaude, répétés jusqu'à ce que la liqueur filtrée ne laisse plus de traces du liquide antiseptique.

Le tableau suivant indique quelques résultats d'expériences que nous avons faites avec l'autorisation de M. Delrue et le concours de M. Busschopp, chargé de la direction

du chantier de préparation de la Compagnie de Lyon, à Collonges. Les analyses ont été faites par M. Payen sur des échantillons numérotés.

DATES des expériences.	NUMÉRO D'ORDRE de l'opération.	NATURE DU BOIS.	DURÉE du courant de vapeur.	DURÉE TOTALE du vide.	DURÉE DU VIDE à 0,65 de mercure.	DURÉE TOTALE de la pression.	DURÉE de la pression maxima.	TEMPÉRATURE de la dissolution.	Quantité d'oxyde de cuivre convertie en sulfate de cuivre cristallisé, trouvée dans 10 grammes de cœur.	Quantité d'oxyde de cuivre convertie en sulfate de cuivre cristallisé, trouvée dans 10 grammes de aubier.
1862.							atm.		gr.	gr.
4 janvier,	5	Hêtre.	0h 11'	0h 30'	2'	47'	16' de 10 à 12	38°	0,100	0,156
6 —	3	Id.	0h 39'	0h 27'	3'	49'	25' d°	51°,8	0,190	0,200
6 —	4	Id.	1h 05'	0h 30'	»	39'	»	»	0,210	0,320
6 —	5	Id.	0h 15'	0h 46'	21'	41'	23' d°	33°,8	0,070	0,090
6 —	6	Id.	1h 00'	1h 06'	41'	46'	»	33°	0,180	0,230
7 —	3	Chêne lombard.	0h 32'	0h 36'	15'	42'	12' à 12	31°	0,090	0,250

Nous ne nous arrêterons pas ici à discuter les résultats de ces expériences, il nous suffit de montrer que le sulfate est réellement fixé.

Ce qui a pu donner lieu à la crainte exprimée par M. le Directeur des constructions navales, c'est l'abus dans lequel on est tombé en réglementant, d'une manière uniforme, pour toutes les essences et pour toutes les variétés, les dosages de sulfate à introduire dans les bois. Le titre des dissolutions est en général trop élevé et la quantité à introduire trop faible.

Il en résulte d'une part que tout le bois n'est pas complètement imprégné, et que, d'autre part, il est sursaturé. C'est le sel en excès qu'entraînent les eaux de lavage.

La carbonisation, ainsi que nous croyons l'avoir démontré par les faits rapportés ci-dessus, agit à la manière des enduits peu perméables. Dès lors on peut lui substituer tout enduit formé de substances appropriées aux conditions particulières dans lesquelles les bois doivent être employés.

Il existe d'autres procédés dont les résultats sont fort analogues à ceux des enduits, ce sont les procédés de préparation par immersion dans des liquides antiseptiques.

On conçoit en effet que si l'on parvient à faire pénétrer ces liquides dans les bois de manière à les revêtir en quelque sorte d'une couche de 4 à 5 millimètres de bois imputrescible, on aura atteint le résultat cherché.

Ce mode de préparation est connu sous le nom de préparation par immersion. Il a fait l'objet des brevets Kyan, Margary, Knab, etc..., et il remplit parfaitement le but que se propose M. de Lapparent. L'expérience a montré que par l'immersion convenablement pratiquée on peut pénétrer les bois jusqu'à une profondeur variable et plus ou moins régulière suivant les essences, savoir : 4 à 5 millimètres pour le chêne, 18 à 25 millimètres pour l'orme, 12 à 13 millimètres pour le pin, etc.

M. Lemercier, ingénieur au chemin de fer d'Orléans, estime que par cette pratique la durée des traverses est augmentée de 4 à 5 ans.

C'est à notre avis le maximum d'effet qu'on peut obtenir de la carbonisation, et nous

ne pensons pas qu'il puisse atteindre cette limite pour le bois de hêtre et les bois tendres.

Chacun des modes de conservation a ses avantages spéciaux, suivant l'emploi qu'on doit faire du bois préparé. C'est ainsi que les enduits à base très-inflammable doivent être éloignés des constructions et que la carbonisation doit être réservée pour les bois difficilement imprégnables, tels que le cœur de chêne, l'acacia, etc., bois qui sont précisément ceux qui ont la plus grande durée naturelle. Mais, quand on ne peut être déterminé par aucun de ces motifs, il n'y a qu'une considération à faire intervenir, c'est le prix de revient :

Le tableau suivant donne à cet égard toutes les indications nécessaires :

Enduits.

La carbonisation d'une traverse revient, d'après ce que nous avons indiqué ci-dessus, de.	0,64 à 0,68
L'immersion par le procédé de Knab, dans un bain de sulfate de cuivre, de.	0,40 à 0,50
La peinture, une couche, de	0,85 à 0,90
La peinture au goudron ou au coaltar, de	0,60 à 0,75

Pénétration intra-vasculaire.

Procédé Boucherie (sulfate de cuivre).	1,40 à 1,60
— Bethell (créosote en vase clos).	1,60 à 1,80
— Légé et Fleury (sulfate de cuivre).	0,90 à 1,10

En résumé, la carbonisation est un moyen de préparation dont les effets sont analogues à ceux qu'on peut attendre des enduits et des procédés d'immersion.

Il se caractérise par ce fait que la couche protectrice qu'il fournit est moins altérable que la peinture, et d'une continuité plus certaine pour des bois durs tels que le chêne, l'acacia, et que la couche obtenue par l'immersion dans un liquide antiseptique autre que la créosote; mais il est bien inférieur pour les bois tendres à la créosote appliquée même par immersion, car dans ce cas l'huile créosotée donnera toujours une couche sans solution de continuité et pénétrera sûrement dans les fentes.

Examiné sous le rapport du prix de revient, il est presque aussi cher que la peinture à l'huile ou au coaltar et eu égard au résultat, plus cher que la préparation au sulfate de cuivre par pénétration intra-vasculaire lorsqu'il s'agit d'autres bois que le chêne.

La carbonisation ne peut s'appliquer seule aux traverses et à tous les bois qui doivent recevoir un chevillage en fer, attendu que la couche de charbon ne peut empêcher la pénétration de l'oxyde de fer dans le bois, oxyde qui joue le rôle d'agent réducteur de la matière organique et la détruit; il faut, pour éviter cet effet, avoir recours à une couche de peinture au goudron appliquée dans les trous destinés à recevoir les chevilles.

La carbonisation est inférieure aux procédés de pénétration intra-vasculaire tels que les procédés Boucherie, Bethell, Légé et Fleury Pironnet : 1° parce qu'elle ne saurait éviter la putréfaction des bois dont le cœur commence à se vicier ; 2° qu'elle ne peut

pénétrer dans les fentes profondes, enfin qu'elle exige une nouvelle opération pour les fentes qui viendraient à se produire après la première carbonisation ; 3° qu'elle ne peut empêcher les ravages des insectes xylophages, tels que tarets et termites, qui causent dans certains ports des dommages considérables aux bois de construction et aux vaisseaux; nous rappellerons à cet égard que, dans les mers des Indes, les vaisseaux attaqués par les tarets ne peuvent guère tenir plus d'une campagne et que sur la Charente, de Rochefort à Saintes, les termites ont envahi un grand nombre de constructions.

Dans notre esprit ces conclusions se rapportent aux bois employés en chemins de fer et aux bois ordinaires de construction.

Quant aux constructions navales, la situation peut être différente, la créosote par son odeur et son inflammabilité ne peut guère s'appliquer, et il est certain que la carbonisation, alors même qu'elle n'augmenterait la durée d'un vaisseau que de 4 ou 5 ans, doit rendre d'immenses services à l'État, puisqu'il n'est guère de bâtiments coûtant moins d'un million, et que pour leur donner cette augmentation de durée il ne faudra qu'une dépense relativement très-minime.

Nous appellerons l'attention de la Société sur les expériences relatées dans la brochure de M. de Lapparent, et relatives à l'emploi des bois de la Guyane. Ces bois, tels que le Courbaril, le Saint-Martin, le Wacapoa, le bois violet, signalés depuis longtemps à l'attention des ingénieurs par la marine, mais qu'on ne pouvait obtenir à des conditions avantageuses, commencent à s'introduire en France; la Compagnie de l'Ouest en a quelques échantillons sur ses lignes, et ils sont pour la plupart susceptibles d'une très-grande durée.

Nous nous permettrons une simple observation à l'égard des expériences faites par M. de Lapparent pour déterminer la perte de résistance que peuvent éprouver les bois préparés au sulfate de cuivre lorsqu'ils sont placés en terre ou dans le fumier.

C'est que le fumier contient de l'ammoniaque, et que ce corps combiné avec le sulfate de cuivre forme le meilleur dissolvant connu de la cellulose.

Quelques membres font remarquer que l'estimation de la dépense par M. Richoux est excessive, qu'elle doit être réduite par le mode d'application du procédé qu'on peut modifier, ainsi qu'il l'a fait remarquer lui-même, soit, par exemple, en faisant avancer la pièce à carboniser au-dessus d'un foyer, soit en employant un gaz combustible plus économique que le gaz d'éclairage, l'oxyde de carbone.

Qu'enfin l'efficacité du procédé semble résulter de l'expérience faite sur le *Royal William*, expérience sur une grande échelle, qui a donné les meilleurs résultats, ainsi que l'indique la brochure de M. de Lapparent, page 37.

M. Schwaeblé fait remarquer que les chiffres cités dans la brochure sont des chiffres résultant d'expériences, et non des chiffres industriels.

M. Richoux observe que, dans son estimation, la valeur du gaz n'entre que pour 1/5e, et que si l'expérience sur le *Royal William* a réussi, celle citée par Knowles, sur le *Duntless*, n'a pas été satisfaisante ; enfin, que si le jet enflammé peut atteindre toutes les fentes qui existent dans le bois, au moment de la préparation, il y a toujours à craindre celles qui se produisent quand le bois travaille, par suite des alternances de chaud et de froid, de sécheresse et d'humidité.

M. Burel croit que, dans le procédé de M. de Lapparent, c'est surtout la deuxième couche qui sert à la conservation des bois, parce que c'est elle qui contient les huiles empyreumatiques créosotées qui se développent par la carbonisation.

Il pense donc que l'on obtiendrait le même effet avec moins de peine et moins de frais en appliquant à la surface du bois de l'acide phénique, des térébènes, etc., qu'on obtient comme résidus des rectifications des huiles de goudrons.

M. le Président, en remerciant M. Alexis Barrault et M. Schwaeblé de leur communication, se plaît à constater que les nouveaux procédés offrent un caractère de nouveauté incontestable, que ce mode d'application de la carbonisation semble spécialement approprié à certaines conditions dans lesquelles les procédés ordinaires de carbonisation ne sont pas applicables, et que la description des moyens de M. de Lapparent a vivement intéressé l'assemblée.

Séance du 19 Décembre 1862.

Présidence de M. Tresca.

M. Flachat présente quelques observations sur la circulaire qui a été distribuée et qui est relative aux conditions d'admission ; il en discute la forme et le fond et conclut par un appel à l'unanimité des suffrages en faveur de l'admission du général Morin.

M. Perdonnet parle dans le même sens et il croit qu'en acceptant de présider la Société pendant l'année 1863, M. le général Morin donnerait une nouvelle preuve de son dévouement à toutes les questions qui se rattachent au génie civil.

Il est ensuite procédé au vote sur l'admission de MM. Gallois, Gaupillat, Marçais, le général Morin et Schlumberger fils. Les conditions d'admission ayant été remplies, ces messieurs sont, à la suite du vote, proclamés membres sociétaires.

La séance est levée à 9 heures.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

Séance du 19 décembre 1862.

Présidence de M. Tresca.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était,

au 20 décembre 1861. de	549
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de	35
	584
A déduire, par suite de décès et de radiations	7
Total des sociétaires au 19 décembre 1862	577

Les versements effectués pendant l'année 1862 se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc., fr	15,379 20	
2° Pour la constitution du fonds social inaliénable, fr	1,874 »	17,253 20
Il reste à recouvrer en cotisations, et amendes, fr.	7,372 »	7,372 »
Total de ce qui était dû à la Société, fr		24,625 20
Au 20 décembre 1861, le solde en caisse était de fr.		5,431 20
Les versements effectués pendant l'année 1862 se sont élevés à fr		17,253 20
Total		22,684 40

Les dépenses de l'année courante se sont élevées à :

1° Pour achat de 13 obligations, fr.	4,032 50	
2° Pour dépenses d'impression, appointements, affranchissements, etc., etc.	12,550 55	16,583 05
Il reste en caisse à ce jour fr.		6,101 35
dont... 5,883 30 pour le service courant		
et..... 218 05 pour le fonds social.		
Somme égale	6,101 35	6,101 35

La Société a en outre en portefeuille 203 *obligations de chemins de fer ayant coûté* 61,171 *fr.* 95 *c.*

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier ; ces comptes sont approuvés.

M. LE PRÉSIDENT adresse au Trésorier, au nom de la Société, des remercîments pour sa bonne et active gestion.

Il est ensuite procédé aux élections des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1863.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président.

M. le général Morin.

Vice-Présidents.

MM. Petiet.
Salvetat.
Forquenot.
Callon.

Secrétaires.

MM. Tronquoy.
Richoux.
Guillaume.
Donnay.

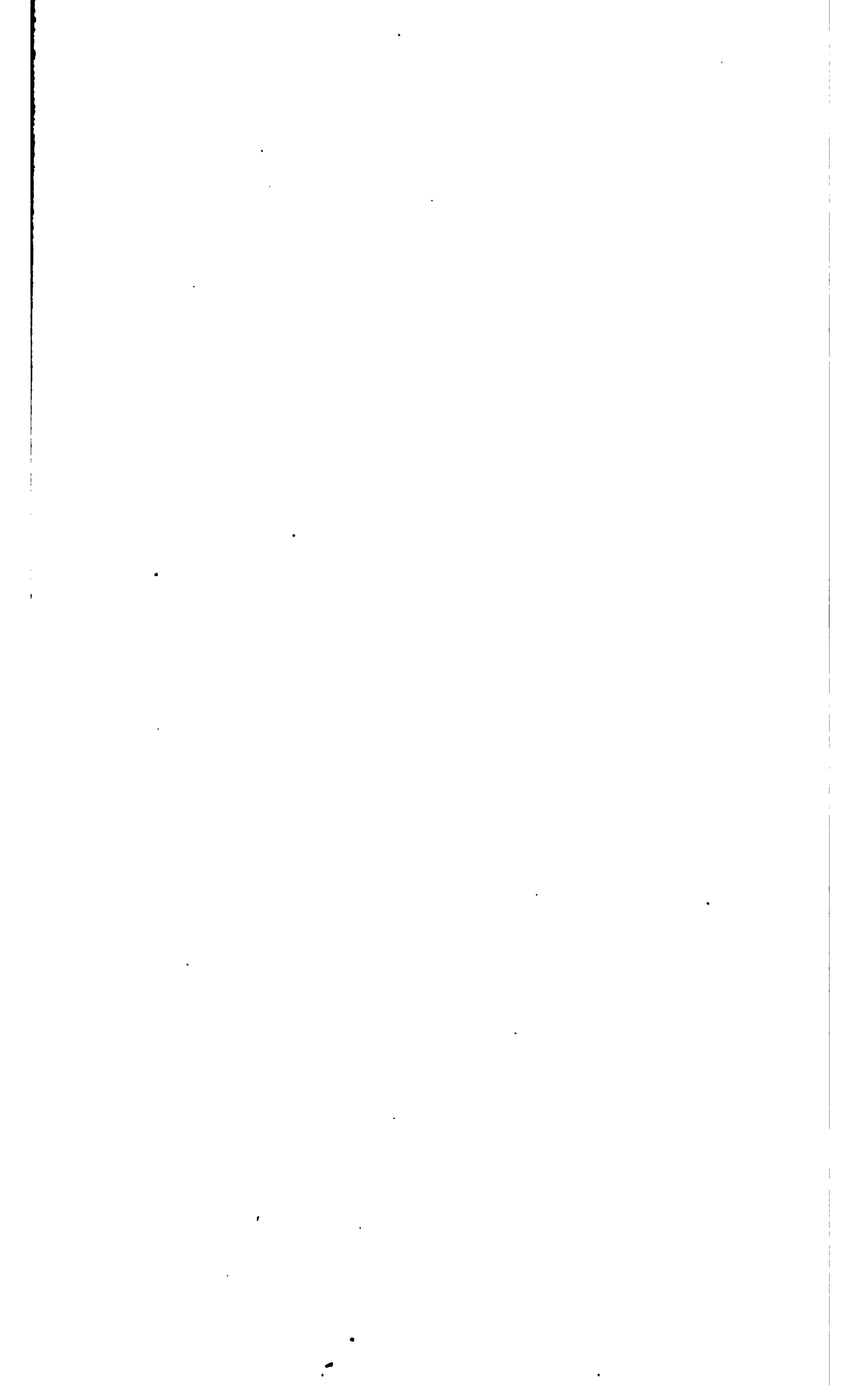
Trésorier.

M. Loustau.

COMITÉ.

MM. Alcan.
Nozo.
Arson.
Vuigner.
Laurent (Charles).
Flachat (Eugène).
Barrault (Alexis).
Faure.
Yvon Villarceau.
Chobrzynski.

MM. Tresca.
Limet.
Alquié.
Love.
Farcot (J.-J. Léon).
Goschler.
Marié.
Mathias (Félix).
Molinos.
Mathieu (Henri).



NOTE SUR LE SERVICE DU SEMMERING,

PAR **M. DESGRANGE.**

LOCOMOTIVES.

Le service des trains sur le *Semmering* est fait par 32 machines, dont 26 pour les trains de marchandises et 6 pour les trains de voyageurs.

Ces machines sont toutes construites d'après le système *Engerth.*

Celles pour trains de marchandises sont établies dans les conditions suivantes :

Diamètre des roues motrices	1m,065	
Nombre des roues accouplées	6	
Diamètre des cylindres	0 ,475	
Course des pistons	0 ,610	
Pression effective de la vapeur	8atm.,75	
Surface de chauffe du foyer	7mq ,04	
Surface de chauffe des tubes (189)	146 ,35	
Surface de chauffe totale	153mq,39	
Distance des axes moteurs extrêmes	3 ,438	
Poids de la machine et du tender en service		59,000k

Cette charge se répartit comme suit :

1er essieu d'avant	13,700k	adhérence totale.	37,500k
2e essieu	12,050		
3e essieu	11,750		
4e essieu	3,500		21,500
5e essieu	18,000		
		Poids total	59,000k

Ces machines avaient été construites pour avoir les 10 roues couplées, au moyen d'engrenages ; mais le système fut reconnu impraticable ; les engrenages furent abandonnés, en sorte que la machine fut réduite tout simplement à une machine à 6 roues couplées. C'est ainsi que ces machines ont fonctionné depuis 1853. Mais évidemment ces conditions

étaient mauvaises, et comme les machines avaient besoin d'une grande réparation, nous nous sommes décidés à les modifier complétement, en fixant les 4 essieux à la machine de façon à les accoupler et à faire un tender séparé.

Nous avons déjà plusieurs machines dans ces conditions, et nous sommes convaincus que nous en aurons de bons résultats. Le faible écartement des essieux parallèles (3,438) n'offre aucun inconvénient bien sensible pour le passage des courbes. (Les courbes du Semmering ont 180 mètres de rayon dans plusieurs parties, avec rampes de 22 à 25 millimètres.) On a d'ailleurs laissé au quatrième essieu un jeu latéral de 20 millimètres qui facilite ce passage. De plus, l'attelage du tender à la machine a lieu au moyen d'un appareil spécial qui reporte le point de traction en avant du quatrième essieu, ce qui permet à la machine de se mouvoir plus facilement.

La répartition de la charge sur les roues, qui était on ne peut plus défavorable, a lieu maintenant d'une manière uniforme, ainsi que cela résulte du tableau comparatif ci-après :

	POIDS ADHÉRENT.					TENDER.		POIDS TOTAL. Machine et tender.	RAPPORT du poids adhérent au poids total.
	1er Essieu.	2e	3e	4e	Total.	1er Essieu	2e		
Ancienne machine..	13.700	12.050	11.750	—	37.500	3.500	(1) 18.000	59 000	63.56
Machine modifiée...	12.000	11.350	11.300	11.750	46.400	9.000	10.600	66.000	70.30

Ainsi, malgré l'addition d'un tender et du poids substitué aux caisses à eau, le poids total de la machine modifiée avec son tender n'est que de 7,000 kilog. plus élevé que celui de l'ancienne machine. Quant au rapport entre le poids utile adhérent et le poids total de la machine et du tender, il a été amélioré de près de 7 pour 100.

Il faut encore faire observer que l'adhérence de 37,500 kilog. de l'ancienne machine est calculée avec les réservoirs pleins d'eau au départ, mais que ce poids se réduit successivement jusqu'à 33 tonnes, tandis qu'il reste le même dans la nouvelle machine.

1. On doit faire observer que la machine ainsi pesée avait 5 tonnes de combustible dans le tender, mais comme les conditions de charge des essieux se trouvaient trop défavorables, nous avons réduit la quantité de charbon à 3 tonnes, et on a obtenu la répartition ci-après :

1er essieu	13,500
2e essieu	12,000
3e essieu	11,750
4e essieu	4,500
5e essieu	15,250

MACHINES A VOYAGEURS.

Les machines à voyageurs ne diffèrent des premières que par le diamètre des roues.

Toutes les autres dispositions sont à peu près les mêmes que pour les machines à marchandises; mais les modifications apportées à ces dernières ne peuvent être appliquées ici à cause du diamètre des roues.

Les conditions d'établissement de ces machines sont :

Diamètre des roues motrices....	1^{m},264
Diamètre des cylindres....	0 ,475
Course des pistons....	0 ,594
Pression de la vapeur....	8 ,75
Surface de chauffe totale....	153 ,39
Distance des axes moteurs extrêmes....	2 ,727

Le poids de la machine et du tender en service est comme suit :

1er essieu d'avant....	$13,000^{k}$	adhérence totale.	$36,900^{k}$
2e essieu....	11,900		
3e essieu....	12,000		
4e essieu....	6,700	....	19,500
5e essieu....	12,800		
		Poids total....	56,400

Cette répartition est encore bien défectueuse, mais cela tient au système, et, quoi qu'on fasse, on ne peut l'améliorer sensiblement.

CHARGE DES TRAINS.

La charge des trains sur le *Semmering* est réglée de la manière suivante :

	TRAINS DE VOYAGEURS à la vitesse de 5^{m},25 ou 19^{k} à l'heure environ.	TRAINS DE MARCHANDISES ou mixtes, à la vitesse de 4^{m},15 ou 15^{k} à l'heure.
Machine à voyageurs....	100 tonnes.	115 tonnes.
Machine à marchandises, ancien système, à 6 roues couplées....	115 —	130 —
Machine modifiée à 8 roues couplées....	—	175 —

Dans la direction de Mürzzuschlag, vers Gloggnitz, et par un beau temps, les charges ci-dessus peuvent être augmentées de 5 tonnes.

Le règlement porte également qu'en cas de mauvais temps, de brouillards ou de grand froid, les charges indiquées peuvent être réduites jusqu'à 25 pour 100 sur la demande des mécaniciens ou chefs de dépôt.

Il arrive fréquemment que le temps est beau au départ de Gloggnitz, mais qu'il est très-mauvais au fur et à mesure qu'on atteint les régions plus élevées; aussi les chefs de station ont-ils l'ordre de faire connaître par télégraphe à Gloggnitz et Mürzzuschlag l'état de l'atmosphère, afin qu'on agisse en conséquence pour la charge des trains.

Les trains de marchandises qui parcourent la ligne du sud de Vienne à Trieste sont généralement chargés à 350 tonnes brut. Ils doivent donc être divisés en trois parties d'environ 117 tonnes, pour franchir le *Semmering*, avec les anciennes machines, et seulement en deux avec les machines à huit roues couplées.

VITESSE DES TRAINS. — EMPLOI DES FREINS.

La vitesse des trains sur le *Semmering*, en déduisant le temps d'arrêt. est d'environ 18 à 19 kilom. pour les trains de voyageurs ordinaires.

Les trains de cour marchent à 30 kilom. environ;

Les trains de marchandises à environ 15 ou 16 kilom.

Le règlement pour le nombre de freins porte :

1° Pour trains de voyageurs une paire de roues avec freins sur 2;

2° Pour les trains de marchandises une paire de roues avec freins sur 4.

Ainsi, si les freins sont disposés pour agir sur les deux paires de roues d'une voiture, il faut pour les trains de voyageurs que le nombre de voitures à frein soit égal à celui de voitures sans frein.

Pour les trains de marchandises, le nombre des wagons à frein est le quart du nombre total des wagons.

La manœuvre des freins exige, de la part du personnel, une grande habitude. Car, si d'une part on ne doit pas enrayer complétement les roues pour éviter de détruire les bandages et les rails, on doit aussi se garder de laisser les sabots serrés longtemps sur les mêmes roues, pour prévenir un trop grand échauffement, ce qui aurait le double inconvénient d'ébranler les bandages et de brûler les sabots.

Enfin, la sécurité exige que la manœuvre des freins se fasse avec la plus grande prudence. Si la vitesse s'accroît au delà de celle fixée, on éprouve sur les pentes de 25 millim. des difficultés sérieuses pour la ramener à celle normale, et il faut, dans ce cas, que le mécanicien vienne en aide aux garde-freins en faisant contre-vapeur.

DÉPENSES DE TRACTION.

Pendant l'exercice de 1860, les dépenses de traction et d'entretien du matériel des trains du *Semmering* ont été par kilomètre de train de. 2f.849

Les mêmes dépenses pour les trains des autres sections des lignes du Sud ont été de. . . . . 1 .891

d'où il résulte une différence de. 0f.958

soit 33,60 pour 100.

Mais, si on tient compte de la différence de charge entre les trains du *Semmering* et les trains des autres sections, on arrive aux résultats suivants :

1° *Trains de voyageurs.*

Les trains de voyageurs, composés en moyenne de 15 à 16 voitures pesant 100 tonnes (non compris la machine et le tender), passent généralement le *Semmering* en une seule fois.

Conséquemment on peut dire que la dépense de traction des trains de voyageurs du *Semmering* est de 33,60 pour 100 plus forte que celle des trains des autres sections.

2° *Trains de marchandises.*

Les trains de marchandises de la ligne du Sud, arrivant à Gloggnitz et à Mürzzuschlag avec une charge moyenne de 300 à 350 tonnes, doivent être divisés en trois parties d'environ 117 tonnes pour franchir le *Semmering*.

Le prix de traction de chacune de ces parties étant, comme nous l'avons dit, au-dessus de 2f.849, le rapport entre les dépenses de traction du *Semmering* et des autres sections sera :

$$1.89 : 2{,}849 \times 3 \text{ soit } 1.89 : 8^f547 = 4.52.$$

Tels sont les résultats de l'année 1860, que nous tenons à constater.

Les modifications que nous apportons aux machines des trains de marchandises par l'accouplement du quatrième essieu et la séparation du tender nous donnent l'assurance, par l'expérience que nous avons déjà faite, que les dépenses du Semmering ***seront notablement réduites.***

Voici l'état comparatif des dépenses de la traction du *Semmering* et des autres sections pour l'exercice 1860.

	SEMMERING.	AUTRES SECTIONS.	MOYENNE.
Locomotives.	fr.	fr.	fr.
Conduite..............	0,352	0,240	0,254
Combustible...........	1,148	0,790	0,828
Graissage..............	0,134	0,070	0,077
Eau....................	0,047[1]	0,069	0,066
Réparations............	0,805	0,296	0,351
Frais généraux..........	0,123	0,079	0,083
Voitures et wagons.			
Réparation de voitures et wagons...............	0,224	0,322	0,311
Frais généraux..........	0,016	0,025	0,024
Total..........	2,849	1,891	1,994

COMBUSTIBLE.

Le combustible employé sur le *Semmering* est le lignite de Léoben, dont la puissance calorifique est de 65 pour 100 de celle du coke de Witkowitz.

Le prix moyen de ce lignite rendu à Bruck est de 21f.50 la tonne, et de 22f.85 rendu à Mürzzuschlag.

Ce combustible est d'un très-bon usage pour les machines, et généralement les mécaniciens maintiennent très-facilement leur pression.

La consommation moyenne des machines entre Gloggnitz et Mürzzuschlag est comme suit :

1° Trains de voyageurs de 12 à 15 voitures, charge brute 100 T....... 32 kil.
2° Trains de marchandises, avec anciennes machines, de 11 à 12 wagons, charge brute 130 T. 42
3° Trains de marchandises, avec machines modifiées, 14 à 15 wagons, charge brute 170 à 175 T.................................. 55

Le dépôt principal est à Mürzzuschlag, et c'est là que les machines s'approvisionnent du combustible nécessaire pour aller à Gloggnitz et retour.

1. Dépense plus faible à cause des eaux naturelles du *Semmering*.

ENTRETIEN DE LA VOIE.

Les frais relatifs à l'entretien et à la surveillance de la voie et des travaux d'art ont donné les résultats suivants :

	fr.		fr.	
Semmering par mille de chemin exploité....	80.142	ou	10.564	par kilom.
Autres Sections (moyenne).................	32.895	ou	4.336	—
Différence........	47.247	ou	6.228	par kilom.

soit 143,10 pour 100.

Quant aux autres dépenses d'exploitation du *Semmering*, les différences avec celles des autres sections ne sont pas sensibles, et nous ne croyons pas devoir en faire mention.

On sait, d'un autre côté, que les dépenses de premier établissement du *Semmering* égalent au moins trois fois celles des autres parties.

SIGNAUX SPÉCIAUX SUR LE SEMMERING.

Contrairement au principe adopté en France, l'absence de signal indique qu'un train doit s'arrêter.

Mais il nous semble que ce système a fait son temps. L'expérience a démontré ses inconvénients; ses avantages sont contestables. Aussi se propose-t-on de changer complétement ce système et d'appliquer celui si rationnel : « absence de tout signal indique la voie libre. »

Le système de signaux sur le *Semmering* est le même que celui adopté pour toute la ligne, avec cette différence que les gardes sont beaucoup plus rapprochés les uns des autres, en raison des courbes continuelles et des nombreux travaux d'art qui existent sur cette section.

Le système en question se compose de signaux optiques, placés de distance en distance suivant les difficultés de terrain, et qui doivent toujours être en vue du mécanicien pour annoncer la voie libre.

Chaque appareil de signal se compose d'un mât surmonté d'une traverse, aux extrémités de laquelle sont hissées une ou plusieurs boules ou corbeilles d'osier rouges.

Dès qu'un train doit partir d'une station marchant dans la direction de Trieste, le premier garde élève une boule ; le garde suivant, qui aperçoit ce signal, élève la sienne, et ainsi de suite, de sorte que le train est toujours précédé du signal.

Si le train marche dans la direction opposée, on emploie deux boules.

La nuit, les trains sont signalés par un feu rouge et un feu blanc superposés.

Ce signal est le même pour les deux directions.

Indépendamment de ce système général de signaux optiques, on a encore établi sur le *Semmering*, et pour plus de sûreté, les signaux électriques à cloche.

Au départ de tout train d'une station, ce signal est mis en mouvement et avertit tous les gardes, suivant le nombre de coups de cloche, que le train arrive.

Ce système, bien appliqué, suffit à lui seul pour garantir parfaitement la sécurité, et on ne conserverait seulement les signaux optiques comme disques avancés, que pour donner le signal d'arrêt au train, soit à l'appròche d'un passage à niveau embarrassé, d'une station, ou d'un train arrêté.

Nous terminons cette note par le tableau de la répartition des dépenses de traction par train et par kilomètre sur le réseau.

CHEMIN DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE.

Lignes principales de Vienne à Trieste. — Pragerhof à Ofen. — Embranchements de Modling à Laxenburg. — Neustadt à Oedenburg. — Stuhlweissenburg à Uy-Szony.

État comparatif des dépenses de traction des années 1859, 1860 & 1861.

DÉTAILS DES PARCOURS ET DÉPENSES.	Sous l'administration de l'État. 1859.	Sous l'administration de la Compagnie. Année 1860.	Année 1861. 1er semestre.	Année 1861. 2e semestre.	Année 1861. Année complète.	RÉDUCTION pour 100 des dépenses de 1861 sur 1859.
Parcours des trains. kilomètres	4,416,023	3,990,493	2,541,697	3,000,862	5,542,559	
Parcours des machines. kilomètres	5,967,671	4,561,279	2,861,568	3,216,790	6,078,358	
Excédant du parcours des machines sur	1,551,648	570,786	319,871	215,928	535,799	
celui des trains pour 100	35,12	14,30	12,58	7,19	9,66	
Dépenses totales de traction et d'entretien	13,322,592f	7,958,366f 92	4,056,031f 40	4,149,770f 60	8,205,802f 00	
Dépense par kilomètre de train.						
1° *Locomotives.*	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	
Conduite	0,244	0,254	0,232	0,215	0,223	8
Combustible	1,082	0,828	0,783	0,603	0,685	37
Graissage	0,136	0,077	0,085	0,083	0,083	38
Eau	0,109	0,066	0,037	0,029	0,033	70
Réparations	0,636	0,351	0,226	0,245	0,236	62
Frais généraux	0,098	0,083	0,066	0,054	0,061	37
2° *Voitures et wagons.*						
Réparation des voitures	0,228	0,095	0.035	0,037	0,036	
Réparation des wagons	0,434	0,175	0,073	0,065	0,069	78
Graissage	»	0,042	0.041	0,037	0,038	
Frais généraux	0,049	0,023	0,017	0,014	0,016	68
Total par kilomètre de train en francs	3,016	1,994	1,595	1,382	1,480	
Réduction pour 100 sur 1859	»	33,80 p. 100	47,09 p. 100	54,14 p. 100	50,90 p. 100	50.90 p. 100

OBSERVATIONS.

Longueur des lignes exploitées en 1861 :

	kilom.
Vienne. — Trieste	578
Modling. — Laxenburg	4
Neustadt. — Oedenburg	32
Ofen. — Pragerhof	329
Stuhlweiss.— Uy-Szony	82
Total	1025

Parcours des véhicules.

1860. — 64,013,717 kilomètres.
1861. — 108,024,040 —

Lignes de Vienne à Trieste; Modling à Laxenburg[illegible]

État comparatif des dépenses de traction et d'entre[illegible]

DÉSIGNATION.	Année 1860 (sous l'administration de la Compagnie).						
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil[illegible]
	Parcours et dépenses totales par mois.						
Parcours des trains, kilomètres.	312,319	271,670	312,808	278,846	292,592	325,795	333,0[illegible]
Parcours des machines. Id....	378,194	334,558	372,419	320,372	343,093	362,474	362,[illegible]
Différence........... Id....	65,875	62,888	59,611	41,526	50,501	36,679	29,[illegible]
Pour 100.................	21,09	23,14	19,05	14.89	17,25	11,25	8,92
Dépenses totales..... francs.	754,559.08	752,961.90	840,442.80	718,052.16	642,318.48	645,659.87	586,811.[illegible]
Locomotives.	*Dépenses par kilomètre de train, en francs.*						
Conduite.................	0,197	0,333	0,270	0,316	0,269	0,259	0,2[illegible]
Combustible..............	0,900	1,075	1,040	0,938	0,865	0,826	0,6[illegible]
Graissage et éclairage.......	0,095	0,097	0,083	0,082	0,075	0,079	0,0[illegible]
Eau......................	0,058	0,080	0,075	0,073	0,063	0,065	0,0[illegible]
Réparations...............	0,555	0,505	0,525	0,509	0,355	0,361	0,3[illegible]
Frais généraux............	0,108	0,123	0,107	0,121	0,144	0,061	0,0[illegible]
Voitures et wagons.							
Réparations des voitures.....	0,148	0,164	0,183	0,157	0,102	0,074	0,0[illegible]
Réparations des wagons......	0,292	0,321	0,335	0,301	0,190	0,172	0,131
Graissage................	0,035	0,043	0,040	0,048	0,077	0,055	0,049
Frais généraux............	0,027	0,032	0,027	0,030	0,055	0,029	0,0[illegible]
Dépense totale par kilomètre de train............	2,415	2,773	2,685	2,575	2,195	1,981	1,[illegible]

LONGUEUR DES LIGNES OUVERTES.

	kilomètres.
Vienne à Trieste.................	577
Embranchements de Modling à Laxenburg et Neustadt à Oedenburg..........	37
Lignes d'Orient. — Pragerhof à Kanizsa.........................	109

Ouvert en mars **1861.**

En Hongrie......................	300

RAMPES.

	kilomètres.
De 20 à 25mm par mètre.	21,60
— 10 à 15 — .	36,81
— 5 à 8 — .	155,12
— 3 à 4 — .	288,74

COURBES.

	kilomètr[illegible]
De 189 à 200 mèt. de rayon.	[illegible]
— 200 à 350 — ..	[illegible]
— 350 à 500 — ..	[illegible]
— 500 et au-dessus	16[illegible]

R DU SUD DE L'AUTRICHE.

leustadt à Oedenburg; Pragerhof à Ofen.

n du matériel roulant des années 1859 & 1860.

Année 1860 (sous l'administration de la Compagnie).						Année 1859 sous l'administration de l'État.	RÉDUCTION pour 100 des dépenses de 1860 sur 1859.	OBSERVATIONS.
Août.	Septembre.	Octobre.	Novembre.	Décembre.	Total et moyenne.			
Parcours et dépenses totales par mois.								
38,904	353,242	393,903	380,164	397,157	3,990,493	4,416,023		Le parcours total des voitures et wagons a été de 64,013,717 k. dont 50 p. 100 à 8 roues.
61,601	387,993	444,843	431,848	461,061	4,561,279	5,967,671		
22,697	34,751	50,940	51,684	63,904	570,786	1,551,648		
6,69	9,83	12,90	13,59	16,09	14,30	35,12		
66,042.98	583,379.26	627,207.65	624,727.35	616,183.22	7,958,366.92	13,322,592		
Dépenses par kilomètre de train, en francs.								
0,257	0,225	0,214	0,243	0,225	0,254	0,244		
0.672	0.687	0,710	0,775	0.885	0,828	1,082	23	
0,069	0,069	0,073	0,070	0,075	0,077	0,136	43	
0,060	0,070	0,068	0,066	0,064	0,066	0,109	38	
0,268	0,315	0,279	0,256	0,095	0,351	0,636	45	
0,070	0,057	0,049	0,060	0,060	0,083	0,098	14	
0,083	0,063	0,059	0,056	0,040	0,095	0,228	52	
0,126	0,119	0,096	0,074	0,061	0,175	0,434		
0,045	0,032	0,031	0,027	0,029	0,042	—		
0,018	0,014	0,013	0,015	0,017	0,023	0,049	53	
1,668	1,651	1,592	1,642	1,551	1,994	3,016	33,88 pour 100.	

mparaison des dépenses du Semmering avec celles des autres parties du réseau.

SECTIONS.	KILOMÈTRES.	PRIX MOYEN de traction.	PARCOURS des trains. Kilom.	CHARGE MOYENNE.	tonn.
Semmering...............	42	2fr 849	425,969	Voyageurs......	93
				Marchandises....	108
Autres sections...........	681	1 891	3,564,524	Voyageurs......	132
				Marchandises....	218
Total et moyenne.......	723	1fr 994	3,990,493	Moyenne....	172

NOTE

SUR LES MACHINES DU SEMMERING,

PAR

M. EUGÈNE FLACHAT.

La Société des Ingénieurs civils a reçu de M. Desgrange, directeur du matériel et de la traction du chemin de fer du sud de l'Autriche, la lettre qui précède.

Cette lettre semblait soulever de nouveau les questions de transformation des machines locomotives du système Engerth, qui ont été discutées dans les *Annales des mines* entre M. Couche, ingénieur en chef des mines, M. Chobzynski et moi : elle m'a donc été renvoyée.

J'ai beaucoup connu M. Desgrange. Pendant longues années nous ne nous sommes guère perdus de vue. J'étais ingénieur en chef de l'exploitation du chemin de fer de l'Ouest lorsqu'il était lui-même ingénieur du matériel et de la traction des lignes Normandes dans l'entreprise de M. Buddicom. J'ai toujours apprécié la rectitude de ses vues; son caractère me donnait la garantie d'une discussion sincère.

Je me suis donc mis en rapport avec lui par correspondance, et je me plais à reconnaître la parfaite distinction de procédés et de langage dont M. Desgrange a fait preuve dans cette discussion.

L'importance des questions soulevées, je dirai presque, éclairées par la Note de M. Desgrange, est facile à reconnaître.

Elle donne sur les frais de traction des trains, sur les rampes d'inclinaison exceptionnelle d'une grande ligne, des renseignements qui, jusqu'à ce jour, avaient manqué.

Elle fournit des éléments nouveaux et précieux sur le rapport qu'il convient d'introduire dans les machines locomotives entre le poids servant à l'adhérence et l'effort de traction, comme aussi entre cet effort et la surface de chauffe.

Cette partie de la Note présente donc des faits dont il importe de faire ressortir l'intérêt.

Il est vrai que dans l'application, c'est-à-dire dans le mode de transformation des machines Engerth, il ne m'a pas semblé que M. Desgrange fût d'accord avec les principes de construction des machines qui dirigent les ingénieurs qui veulent tirer des divers types toute la puissance dont ils sont susceptibles, principes que M. Desgrange partage d'ailleurs avec eux. Nous reviendrons plus loin sur ce point. Ce qui importe bien plus, c'est de constater les avantages que cet ingénieur a tirés de la transformation de ses machines et ceux auxquels il a renoncé.

Rappelons que les ingénieurs cherchent, en pareille occasion, à obtenir la plus grande surface de chauffe avec la moindre quantité de métal, et à faire servir à l'adhérence le poids indispensable des machines.

Nous entendons ici par poids indispensable la machine entière, considérée aussi bien comme instrument de transmission de force que comme véhicule comprenant les approvisionnements d'eau et de combustible.

Ces principes ont été heureusement appliqués par nous, depuis plusieurs années, à des types légers (de 11 à 28 tonnes), dans le service de la banlieue de Paris, qui ne nécessite, il est vrai, qu'un assez faible approvisionnement d'eau et de combustible. L'application s'en est généralisée dans les mêmes conditions. Les deux plus récents spécimens sont les machines dites *à fortes rampes*, de la Compagnie du Nord, et celles de la Compagnie de l'Ouest, qui font le service de la rampe de 35 millimètres sur la ligne de Saint-Germain.

M. Engerth a essayé d'étendre aux machines de grande puissance la condition d'intéresser leur poids entier à l'adhérence, au moyen d'un système d'engrenages transmettant la force motrice des essieux de la machine à ceux du tender.

Il a échoué dans la transmission. Mais de cet essai il est resté un fait important : c'est qu'une partie du poids de la chaudière pouvait être porté par les essieux du tender, ce qui permettait des surfaces de chauffe et des dimensions de foyer jusqu'alors inusitées, sans élévation du centre de gravité de la machine, et avec la facilité de franchir des courbes de faibles rayons.

La Compagnie du Nord s'empara de cet avantage, et fit construire sur ce type quarante machines de 197 mètres de surface de chauffe : on n'avait pas alors dépassé 125 mètres carrés.

Les états de service de ces machines ont prouvé l'efficacité des types doués d'une grande surface de chauffe, et, à ne considérer que ce côté de la question, le progrès réalisé alors est incontestable.

Il est en outre accepté, car les Compagnies d'Orléans et du Midi font construire des machines dont la surface de chauffe atteint 209 mèt. carr.

Mais dans le type Engerth, du Nord, le poids du tender et des approvisionnements, et même une petite partie du poids de la machine portée par l'essieu d'avant du tender, ne sert pas à l'adhérence.

L'adhérence est alors trop faible, et la Compagnie du Nord adopte en

conséquence, dans ses nouvelles machines, des dispositions mécaniques qui intéressent à l'adhérence le poids entier de la machine et de l'approvisionnement.

L'adhérence se trouve ainsi portée de 205 à 268 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe.

M. Desgrange va beaucoup plus loin, et avec un succès surprenant. Le poids adhérent était, dans la machine qu'il modifie, de 242 kilogr. par mètre carré de surface de chauffe; il le porte à 304 kilogrammes, et il obtient de la même surface de chauffe la remorque d'un train de 175 tonnes au lieu de 130. L'effort de traction s'élève à 7,050 kilogr., soit à 45 kilogr. par mètre carré de surface de chauffe.

Déjà le service sur le chemin d'Alais, de la machine *La Rampe*, construite sur les dessins de M. Beugniot, avait établi que cette machine pesant, avec les approvisionnements complets, 70,850 kilogr. ayant en surface de chauffe (extérieure) 173 mètres carrés, et un poids adhérent de 47,300 kilogr., remorquait, en service régulier, des trains de 125 tonnes sur les rampes de 25 millimètres, et de 90 tonnes sur les rampes de 28 millimètres, aux vitesses de 16,600 et 16,950 à l'heure.

Dans ces circonstances, le poids adhérent est, par mètre carré de surface de chauffe, de 274 kilogrammes.

Ainsi, par la simple augmentation du poids adhérent, l'utilisation de la surface de chauffe pourrait être accrue dans de certaines limites.

Il importe donc, pour déterminer les proportions de cet accroissement, de rassembler les faits de l'ordre de ceux que nous venons de produire. Ces faits ne peuvent être pris que dans le service courant. Les essais doivent être soigneusement écartés. Il faut en écarter également le travail fait sur une voie horizontale, parce que l'effort de traction varie généralement, en pareil cas, par suite des ralentissements et des accélérations dans la marche.

Les faits ainsi choisis et les plus saillants sont fournis par les machines dites *grosse Engerth* et machines *à fortes rampes* de la Compagnie du Nord, par les machines *La Rampe* et *La Courbe* de M. Beugniot, et par la machine du Semmering, modifiée par M. Desgrange.

Le tableau suivant les résume.

MACHINES.	POIDS adhérent.	SURFACE de chauffe.	EFFORT de traction aux vitesses de 16 à 18 kil.	RAPPORT de l'effort de traction au poids adhérent.	POIDS adhérent par mètre carré de surface de chauffe.	EFFORT de traction par mètre carré de surface de chauffe.
	kil.	mètre carré.	kil.		kil.	kil.
Grosse Engerth. Nord.	40.300	197	5.859	6.9	205	29.70
Machines à fortes rampes anciennes. Nord.	37 500	123 68	4.346	8.6	303	35
Beugniot..........	47.300	173	5.484	8.6	274	31.7
Semmering modifiée..	46.400	153.39	7.049	6.6	302	46

Dans les nouvelles machines de grande puissance en construction, le poids proportionnel au mètre carré de surface de chauffe est comme suit :

MACHINES.	POIDS ADHÉRENT.	SURFACE de chauffe.	POIDS PROPORTIONNEL au mètre carré de surface de chauffe.
	kil.	mètre carré.	kil.
Fortes rampes nouvelles. Nord....	48.200	166.82	259
Quatre cylindres. Nord.........	57.600	213.25	268
Orléans et Midi...............	43.000	209.40	206

Il ressort de ces comparaisons que, malgré la longueur des rampes du Semmering, malgré le nombre et le faible rayon des courbes qui descend jusqu'à 180 mètres, malgré l'influence que le climat sur le col peut exercer sur l'adhérence, les machines modifiées par M. Desgrange utilisent le poids adhérent à moins du septième, et produisent un effort de traction qui, mesuré proportionnellement au mètre carré de surface de chauffe, est de 46 kilogr. au lieu de 35 obtenu par la machine *à fortes rampes* du Nord.

C'est incontestablement une des meilleures utilisations de machines de grande puissance, et qu'il importait grandement de constater.

Serait-il vrai que le frottement qui explique l'adhérence croît dans une proportion supérieure à l'augmentation du poids porté par les essieux moteurs, de telle sorte qu'en employant des bandages et des rails en acier, on pourrait dépasser le poids de 10 à 12 tonnes par essieu moteur, sans plus d'altération que cela n'a lieu maintenant avec l'emploi du fer, ou du fer et de l'acier?

Si on est autorisé à penser que cette loi de l'adhérence est soumise à celles de l'élasticité et de la ténacité des corps en contact sous des pressions variables, combien alors il serait utile que des expériences fussent faites dans ce sens : et s'il en résultait, comme on est autorisé à le supposer, que les corps les plus durs et les plus élastiques mis en contact donnent, sous de certaines pressions, la plus grande somme d'adhérence malgré le poli des surfaces et avec la moindre altération de celles-ci, à quels progrès cette loi ne conduirait-elle pas dans la construction des machines?

Revenons à la transformation elle-même, considérée comme question de construction de machines.

C'est sur ce point que nous avons dû demander à M. Desgrange des explications que sa première Note ne fournissait pas.

Le poids de la machine modifiée est en effet tout à fait disproportionné avec sa surface de chauffe.

Dans les machines à huit roues couplées isolées du tender étudiées par MM. Forquenot et Mathieu, en construction chez MM. Cail et Cie pour les lignes d'Orléans et du Midi, le poids de 43,000 kil. correspond à une surface de chauffe de 209 mètres carrés, soit 206 kil. par mètre carré.

Or ce poids est, dans la machine modifiée par M. Desgrange, de 302 kil., soit un tiers en sus. Le poids de la machine et du tender (66,000 kil.) donne 431 kil. pour le poids total afférent à un mètre carré de surface de chauffe, tandis que le poids entier de la machine d'Orléans et du Midi, attelée à son tender chargé d'un approvisionnement beaucoup plus considérable, n'atteindra pas 340 kil. par mètre carré de surface de chauffe; c'est encore la proportion de 340 à 430, soit 8 : 10.

Dans la machine en voie d'exécution, chez MM. Gouin et Cie, pour le chemin de fer du Nord, le poids entier de l'ensemble, machine et approvisionnement, sera, pour l'une, celle dite pour *fortes rampes*, de 259 kil. par mètre carré de surface de chauffe, et pour l'autre, qui a 6 essieux couplés par groupe de 3 et 4 cylindres, il sera de 268 kil.

Ce sont là de graves exemples.

Or, s'il est une situation où le maximum de puissance des machines soit désirable, c'est assurément au Semmering, puisque, pour le traverser, il faut diviser les trains que les machines ordinaires amènent au pied du passage.

Il nous semblait donc que c'était au moins le cas de profiter de tout ce que le système Engerth, réduit aux quatre essieux moteurs couplés de la machine, peut donner en surface de chauffe, en employant dans la transformation de la machine même tout le poids disponible, à savoir :

Sur les quatre essieux moteurs	46,400 kil.
Et sur le premier essieu du tender.	3,600 »
Soit.	50,000 kil.

à l'aide desquels il eût été possible d'obtenir 250 mètres, au moins, de surface de chauffe avec un foyer de grandes dimensions, profond et spacieux, et avec un grand nombre et une grande longueur de tubes.

C'est à la partie de notre lettre qui critiquait la transformation, au point de vue du poids de la machine transformée, que répond M. Desgrange.

Les citations qu'il en a faites, avec une parfaite bonne foi, nous dispensent de la reproduire; mais la seconde note nous laisse sous la même impression que la première.

La transformation de machines, évidemment défectueuses sous plusieurs rapports, était nécessaire et elle a donné des résultats excellents; de plus, elle apporte des faits nouveaux et importants sur l'utilisation de la surface de chauffe par un fort supplément d'adhérence; mais c'est

peut-être une raison de plus pour regretter que cette transformation n'ait pas été faite dans toutes les conditions des nouvelles constructions, soit comme machines isolées du tender, soit comme machines du système Engerth. Nous savons, par expérience, combien ces transformations sont difficiles ; mais venu parmi les premiers, à l'origine de la grande industrie des chemins de fer, et appelé à exécuter de nombreuses et successives transformations du matériel, nous avons aussi l'expérience des regrets que l'ingénieur éprouve toutes les fois qu'il a hésité, devant la dépense, à donner aux machines transformées toutes les qualités des machines nouvelles.

RÉPONSE *de M. Desgrange.*

« Je vais tâcher de répondre aux différentes observations que vous voulez bien me faire sur la transformation de la machine Engerth *du Semmering*.

« En premier lieu vous dites « que le côté par lequel le succès obtenu « intéresse le plus, est que nous réalisons un effort de traction de 7,049 kil. « avec 153 39 de surface de chauffe, ce qui donne 46 k° par mètre carré, « soit 35 pour 100 de plus que la plus forte Engerth connue. »

« Je vous avoue que je ne partage pas complétement l'avis émis sur le principe que l'effort de traction est en raison de la surface de chauffe. — J'ai été à même de faire souvent l'expérience qu'une machine ayant une surface de chauffe faible, avait une plus grande force de traction qu'une autre machine ayant une surface de chauffe plus considérable. Des dimensions de cylindres plus grandes, ou une plus forte pression conduisent évidemment à ce résultat pour l'effort que la machine peut *exercer à un moment donné*, mais un bon combustible, des moyens plus actifs pour accélérer la combustion peuvent aussi maintenir cette supériorité de l'effort de traction [1].

« Mais vous serez encore plus étonné lorsque vous saurez que la chaudière de la même machine, lorsque nous l'avons essayée avec les engrenages *inadmissibles* de l'origine, pour utiliser l'adhérence des 5 essieux, a suffi pour développer et maintenir pendant plus de 28 kilom. à la vitesse de $4^{m},25$ par seconde, sur les plus fortes rampes du Semmering un effort de traction de 7,828 kil.

$$[(\text{train } 200^{t} + \text{mach. } 67^{t}650) \times 29^{k},25],$$

ce qui ne fait pas moins de 50 kil. par mètre carré de surface de chauffe. Comme vous le voyez, monsieur, nous sommes loins du chiffre de 30 kil. de la machine Engerth du Nord.

1. Il est évident que ce n'est qu'entre machines identiques et comparables par toutes les autres conditions, que la surface de chauffe devient la mesure proportionnelle des forces qu'elles peuvent développer, ou plutôt du travail qu'elles peuvent accomplir. E. F.

« Permettez-moi encore de vous rappeler, à cette occasion, que la machine à marchandises Buddicom remorque des trains de 375 tonnes sur rampes de 5m, soit un effort de traction de 375t × 9,25 = 3,468 kil., et n'a que 85m de surface de chauffe, soit un effort de plus de 40 kil. par mètre, à la vitesse de 5m,50 par seconde. Or cet effort est obtenu sans difficulté, et on ne peut dire que la consommation de combustible de ces machines soit plus forte que celle des autres.

« En second lieu, énumérant les avantages que nous avons obtenus, vous dites que vous reconnaissez celui que nous avons eu : 1° à porter le poids adhérent à 46,400 au lieu de 37,500 par l'accouplement du quatrième essieu.

« Je m'arrête sur ce premier point.

« Oui, l'adhérence manquait à la machine-tender du Semmering telle qu'elle existait primitivement. Nous avons dit que cette adhérence était, *au départ*, de 37,500 kil. et qu'elle était successivement réduite à 33 tonnes, correspondant à des charges de trains de 120 à 130 tonnes seulement. Or, nous avons vu plus haut que la même chaudière permettait des trains de 200t, non compris machine, et que la machine modifiée remorquait des trains de 175 tonnes, toujours non compris machine et tender.

« Évidemment ces chiffres parlent assez et sous ce rapport, du moins, la modification échappe à toute critique.

« 2° A reporter plus également sur les essieux pour ménager la voie, le poids servant à l'adhérence; 3° je comprendrais encore, ajoutez-vous, que vous eussiez séparé la machine du tender, mais ce dernier point ne me semble pas clairement expliqué dans votre note.

« J'entrerai dans quelques détails.

« Il était, en effet, de toute utilité de mieux répartir la charge de la machine sur les essieux, car cette charge était on ne peut plus défavorable comme vous pouvez le voir :

« 1° Machine marchant avec

6 roues couplées :			
1er essieu d'avant . . .	13,700	adhérence 37,500	
2e	12,050		
3e	11,750		
4e	3,500		
5e	18,000		
			59,000

« 2° Machine Engerth à engrenages
avec les 10 roues couplées
(épreuve seulement).

1er essieu	15,250	
2e	10,700	
3e	15,650	
4e	6,250	
5e	19,800	
		67,650

« Je n'ai pas besoin d'insister sur les conséquences désastreuses pour la voie et les bandages d'un tel état de choses, et surtout lorsqu'on songe qu'il existait, pour arriver, dans le premier cas, à 33 tonnes d'adhérence!!! Mieux eût valu de suite une machine à deux essieux couplés de chacun 16 tonnes et demie de charge!

« Dès lors pourquoi cet embarras de l'enchevrêtement de la machine et du tender qui coûte si cher? La première chose était donc tout naturellement la suppression de cet essieu de 18 tonnes. Enfin, du moment où nous fixions le quatrième essieu à la machine, pourquoi aurions-nous conservé le même système d'accouplement du tender? Pour éviter d'ajouter un contre-poids à la machine? Mais d'abord veuillez bien remarquer que le poids additionnel n'est que de 3,500 kilog. et qu'il aurait suffi de le porter à 1,500 s'il ne s'était agi que de maintenir l'équilibre; mais je tenais à avoir ce supplément d'adhérence de 2,000 kil., car nous n'*en avions pas trop*, et c'est encore par ce côté que la machine pèche. Assurément j'eusse preféré voir ce poids mort utilisé en faveur de la chaudière, mais nous n'étions pas maîtres de le faire, puisque nous maintenions la même chaudière. Enfin le tender primitif ne contenait pas d'eau et offrait trop peu de place pour le combustible. Nous avons donc adopté le tender ordinaire, aussi réduit que possible dans ses dimensions, et de façon à subvenir, pour l'eau et le combustible, aux circonstances spéciales au Semmering. La machine primitive, réduite à trois essieux couplés, pesait 59 tonnes et avait une adhérence réduite à 33. La machine modifiée pèse *avec son tender* 66 tonnes, mais elle a pour adhérence constante 46,400 kil. La différence de 7 tonnes dans le poids brut n'est donc pas, comme vous le dites, « *un gros sacrifice sans utilité,* » puisque ces 7 tonnes d'augmentation de poids de machine et tender ne correspondent qu'à une faible partie (le dixième environ) de la force de traction que nous gagnons par une augmentation d'adhérence de 13,400 kil., *à laquelle suffit,* comme je l'ai déjà dit, *la surface de chauffe dont nous disposons.*

« Arrivant à la question du rapport de l'effort de traction à la surface de chauffe et à l'adhérence, vous dites : « Je crois que l'effort de traction « de la machine du Semmering est de 7,069 kil. avec 153,39 de surface « de chauffe, tandis que la machine du Nord n'en peut exercer qu'un de « 5,860 kil., à vitesse, il est vrai, un peu supérieure, avec 196 mètres, ce « qui est en faveur de votre machine; mais je vois aussi qu'il vous faut « un poids de 46,400 kil. pour 153^{m},39 de surface de chauffe, tandis qu'il « n'en faut à la machine du Nord que 40,385 kil. pour 196^{m}. C'est donc « 6,015 kil. de poids de machine de plus pour 43^{m} de surface du moins ; or, « ces 6,000 kil. équivalent à 75^{m} de surface de chauffe que vous perdez. »

« Et d'abord, je répète que l'effort de traction de la machine du Semmering est de 7,049 kil. avec 153,39 de surface de chauffe, soit par mètre 46 kil. L'avantage de la machine du Semmering sur celle du Nord est

donc encore bien considérable; mais je ne veux pas en tirer la conclusion que la machine du Nord est moins bonne que celle du Semmering modifiée.

« En ce qui concerne le second point, surface de chauffe et adhérence, il est vrai que nous avons par mètre carré de surface de chauffe, $\frac{46,400\text{ k}^o}{153,39} = 302$ kilog., tandis que la machine du Nord en a 205 kil.; mais cette différence d'adhérence était *nécessaire*, *indispensable* pour la machine du Semmering; car, comme je l'ai déjà dit, le défaut de ces machines est encore le manque d'adhérence, et on le comprendra, si on sait que nous avons employé annuellement pour cette partie de notre ligne plus de 2,000 mètres cubes de sable pour diminuer le patinage des roues.

« Pour le rapport entre l'adhérence et l'effort de traction, il est comme 46,400 à 7,049, soit 6 et demi, tandis que pour la machine du Nord ce rapport est d'environ le septième, ce qui s'accorde complétement avec ce que je viens de dire, touchant l'insuffisance d'adhérence que présente encore, dans certains cas, la machine modifiée.

« Quant à la voie, » dites-vous plus loin, « elle est chargée par essieu « de 1,600 kil. de plus avec la machine du Semmering qu'avec la ma-« chine du Nord, ce qui fait de cette machine l'appareil le plus pesant « qu'on ait construit récemment, puisque le mètre carré de surface de « chauffe pèse 302 kil., tandis que celle du Nord ne pèse que 205. »

« Mais d'abord qu'entend-on par un appareil pesant? Évidemment vous ne voulez pas parler du poids *total absolu* de la machine, car, sous ce rapport, nous sommes bien au-dessous de ce qui a été fait. On doit entendre le poids de la machine par essieu, car c'est le côté intéressant pour la voie et la traction, et c'est d'ailleurs le langage ordinaire en chemin de fer.

« Mais vous avez vu plus haut que l'ancienne machine Engerth à trois essieux, du Semmering, pèse sur l'essieu d'avant 13,700 kil. et 18,000 kil. sur l'essieu d'arrière; et que pour la même machine à engrenage c'était encore plus, puisque le poids à l'avant était de 15,000 kil., et de près de 20,000 kil. à l'arrière. Or, l'essieu le plus chargé de notre machine modifiée n'excède pas 12,000 kil. (pour un rail de près de 40 kil. par mètre courant).

« Si vous voulez parler du poids de la machine par rapport à la surface du chauffe, vous verrez que si la machine modifiée pèse par mètre carré de surface de chauffe 302 kil., la machine Engerth du Semmering, à engrenage, pèse $\frac{67,650\text{ k}^o}{153,39.} = 441$ kilog. — Vous voyez donc, monsieur, que, quelle que soit la manière d'envisager le poids d'une machine, il ne peut en ressortir un désavantage à la charge de la modification, et cette circonstance me fait toujours penser qu'il y a confusion dans votre es-

prit entre la machine Engerth du Nord, que vous trouvez bonne (ce que je ne conteste pas), et l'Engerth du Semmering que vous trouvez mauvaise.

« Nous arrivons à une de vos dernières objections. Vous dites : « J'en « conclus encore que si une machine isolée peut peser 46,400 kil. sans « endommager la voie, malgré les pressions supplémentaires que les « inégalités de la voie, et les mouvements qui en sont la conséquence « font porter sur les essieux extrêmes, le système Engerth vous eût « permis d'ajouter encore à ce poids 2 ou 3 mille kilog. portés par l'es- « sieu d'avant du tender, et disponibles pour augmenter la surface de « chauffe... »

« L'expérience a, en effet, fait admettre l'emploi de machines avec 12 tonnes par essieu, mais en supposant que la voie ait à souffrir de cette charge, le dommage sera encore bien plus considérable avec des essieux chargés de 15 à 20 tonnes. Quant au poids de 2 à 3,000 kil., que permettait d'ajouter le maintien du système Engerth en faveur de la chaudière, je répète que je ne pouvais rien ajouter au poids de la chaudière, par conséquent il était inutile d'emprunter un *cinquième essieu* pour supporter une partie du poids de la machine.

« Je ne puis même admettre que ce soit, comme vous le dites, un avantage de la machine Engerth de « reporter sur le premier essieu du « tender une forte partie du poids de la masse d'eau que l'inclinaison « des rampes accumule sur le foyer, » car, si cet avantage existe à la remonte, il disparaît à la descente. En tous cas l'avantage que vous invoquez en faveur du système Engerth, en général, ne s'appliquait pas à la machine du Semmering, pour laquelle on avait admis 18 tonnes par essieu.

« Le meilleur était donc de répartir la charge uniformément sur niveau.

« J'ajoute que je ne suis pour rien dans la conclusion qu'on a pu tirer de ma note insérée dans les *Annales des mines*, à savoir que le système Engerth devait disparaître. Mais ce que j'ai pensé et dit, c'est que la machine Engerth spéciale du Semmering avec caisses à eau sur les *roues motrices*, adhérence variable, sans place pour le combustible, et pesant 18 tonnes par essieu, était mauvaise, inadmissible. Je dis en outre que l'enchevrêtement du tender dans la machine est une disposition incommode, et qui entraîne des dépenses considérables. Nous avons plus de *cent machines* de ce système, et vous admettrez bien une certaine valeur à notre expérience sur ce point.

« J'admets, en résumé, qu'une machine de 46,400 kil. pourrait avoir une plus grande surface de chauffe que celle de notre machine, mais spécialement pour le Semmering nous en avons assez, car notre force de traction est suffisante pour l'adhérence.

« D'ici peu la Compagnie va mettre la main à l'œuvre pour un autre chemin analogue à celui du Semmering, mais beaucoup plus important

encore. Je veux parler du chemin du Brenner, qui doit relier notre réseau du Tyrol (nord) avec celui du Tyrol (sud). Les rampes y seront de 25^{mm}, mais les rayons des courbes seront plus favorables qu'au Semmering. Je désire que d'ici là on trouve un bon système de machine, n'usant pas les rails et brûlant peu de combustible, mais je n'ose espérer qu'on trouve beaucoup mieux que notre machine ordinaire à quatre essieux couplés et tender séparé.

« La Société autrichienne a fait construire une machine spécialement destinée pour les rampes et les courbes, et dont les trois essieux sont accouplés aux deux du tender par des bielles et un essieu intermédiaire. C'est un type que vous verrez cette année à l'Exposition. On en a fait l'épreuve à Vienne, dans une courbe continue de 90 mètres de rayon, et le système a bien fonctionné; mais je trouve la machine compliquée, et je ne crois pas à son avenir. J'ai tenu aussi à faire voir que notre machine modifiée du Semmering marcherait sans inconvénient dans la même courbe et avec la même facilité. C'est en effet ce qui a eu lieu il y a quelques jours, et qui a parfaitement réussi.

« Je vous demande pardon, monsieur, d'avoir été aussi long dans mes explications. J'aurais pu les abréger, mais j'ai tenu à répondre à chaque point de votre lettre, ce qui a entraîné des répétitions.

Nous avons reçu depuis de M. Desgrange une troisième Note, dont la date est antérieure à la seconde, et qui a pour but de répondre à un écrit répandu en Allemagne, mais qui n'est pas venu jusqu'à nous.

Bien que M. Desgrange revienne dans ce travail sur des questions qu'il a présentées dans les deux autres, nous n'en croyons pas la publication surabondante, parce qu'elle contient des faits fort intéressants, et que l'échange des données sur la construction des machines de grande puissance est indispensable au progrès de leur construction.

3e NOTE *relative aux machines du Semmering.*

Il a été écrit dans ces derniers temps une note traitant « du matériel roulant des chemins de fer à tracés sinueux à courts rayons et à fortes rampes. »

Nous ne savons dans quel but cette note a été faite, ni si elle est destinée à la publicité. En tous cas nous laissons à de plus autorisés que nous la tâche d'en étudier toute l'étendue, et celle plus difficile encore d'en tirer une conclusion.

Mais nous ne pouvons pas laisser passer sans réfutation la partie de cette note qui a trait aux machines Engerth du Semmering, car la transformation que nous avons fait subir à ces machines, de même que les résultats que nous en obtenons, y sont présentés d'une façon inexacte et qui dénature ce que nous avons fait.

Si l'auteur de la note avait pris des renseignements à la direction de la Compagnie du Sud, nous sommes certains qu'il n'aurait pas laissé subsister les erreurs contre lesquelles nous nous élevons.

Nous sommes loin de méconnaître les mérites de la machine Engerth, surtout lorsque nous nous reportons à l'époque à laquelle elle a été construite. Cette machine a assurément rendu de grands services aux chemins de fer, et son auteur n'a pas eu, croyons-nous, à se plaindre des résultats qu'il en a personnellement obtenus; mais est-ce à dire que là était la perfection et qu'il n'y avait plus rien à faire?

Peu de personnes le pensent, et quant à nous, qui avons sous les yeux depuis trois ans les machines du Semmering et qui nous occupons de la traction la plus difficile que présente le réseau européen, on ajoutera peut-être quelque valeur à nos observations.

Nous comprenons que l'auteur de la machine dont il s'agit éprouve quelque peine à voir son œuvre disparaître, mais c'est la loi naturelle de toute chose, et comment en serait-il autrement pour cette machine?

La machine Engerth a fait son temps, et l'auteur l'a reconnu lui-même; mais, à l'opposé de bien des inventions, elle laissera à l'inventeur un mérite et une réputation que personne ne peut lui contester.

Cela dit, nous tenons à établir comment nous avons trouvé la machine Engerth du Semmering, les résultats qu'elle donnait alors, ce que nous avons fait pour l'améliorer, et enfin les résultats obtenus après la première année de l'exploitation.

Lorsque, après la campagne de 1859, nous prîmes le service de la traction des chemins du sud de l'Autriche, la traction du Semmering était faite au moyen de 26 machines à marchandises et de 6 machines à voyageurs, toutes construites d'après le système Engerth; et comme ces machines ne suffisaient pas pour assurer le service, on avait dû y adjoindre quelques machines à marchandises à six roues couplées du *système ordinaire.*

Nous parlerons spécialement des premières. Malgré l'installation à Mürzzuschlag d'ateliers considérables spécialement affectés à la réparation des machines du Semmering, on ne pouvait suffire à leur entretien. Les machines se trouvaient dans le plus mauvais état. Les chaudières, les boîtes à feu notamment, avaient besoin de réparations importantes.

Il résulte des documents que nous avons sous les yeux, que lorsque la réparation des machines du réseau du Sud, autres que celles du Semmering, avait coûté 0^{fr},36 par kilomètre, celle des machines du Semmering était de 1^{fr},576, soit 4 fois 1/3 celle des premières!

Chaque machine remise en état par l'atelier de Wien, en 1859, occasionna une dépense de près de 40,000 francs!

Il est intéressant de voir quel était, pour une telle dépense, le travail des machines. Cette dépense était-elle compensée par un rendement correspondant?

Nous n'hésitons pas à répondre négativement.

Chaque train de marchandises qui arrivait au pied du Semmering avec une charge de 300 à 350 tonnes devait être divisé en trois parties.

Nous n'avons pas pour les exercices antérieurs à 1860 les documents nécessaires pour apprécier les dépenses de traction qui résultaient de cette division des trains, mais en 1860, et alors que l'ensemble de notre service avait déjà subi des améliorations importantes, nous avons trouvé que la traction du Semmering avec les machines Engerth primitives coûtait 8^{fr},547 par kilomètre de train de 350 tonnes (remorqué en 3 parties de 117 tonnes), tandis que le prix de traction du même train sur les autres sections était seulement de 1^{fr},89, soit 4 fois 1/2 le prix sur chemin ordinaire.

Il y avait donc lieu de se préoccuper d'améliorer un état de choses aussi défavorable, et il ne nous fallut pas longtemps pour découvrir qu'il tenait tout particulièrement au système de machine.

C'est donc ici le cas de dire ce qu'étaient ces machines lorsque nous les avons prises.

On sait que la machine Engerth à marchandises avait été faite pour marcher avec les deux essieux du tender accouplés à la machine au moyen d'engrenages, mais que ces derniers furent abandonnés après quelques mois d'expérience.

On ne peut admettre, comme le dit l'auteur de la note, « que la réserve avec laquelle M. Engerth avait appliqué l'engrenage prouve qu'il n'avait jamais considéré la solution comme parfaite, » car les roues dentées, leurs châssis et accessoires ont été faits pour un *grand nombre de machines* et n'ont jamais servi. Nous les avons trouvés au rebut où ils sont encore.

La machine, ainsi réduite à trois essieux couplés, n'était donc plus qu'une machine ordinaire, mais réunissant les conditions *les plus défavorables*, ainsi qu'on peut en juger par la répartition suivante de la charge sur les cinq essieux, machine en marche :

1er essieu d'avant	. . . . .	13,700 kil.	} 37,500 kil. poids adhérent	
2e — —	. . . . .	12,050		
3e — —	. . . . .	11,750		
4e — tender	. . . . .	3,500	} 21,500 kil. poids mort	
5e — —	. . . . .	18,000		
Total	. . . .		59,000	

Ainsi l'essieu d'avant supportait près de 14 *tonnes*, et celui d'arrière du tender 18 ! !

Dans ces conditions le tender était chargé de 5 tonnes de charbon seulement, et les caisses à eau placées sur les côtés de la machine.

Lorsque l'eau de ces caisses était absorbée, l'adhérence était réduite à 32 tonnes, soit à 54 pour 100 du poids total primitif du tender[1].

1. Nous ne savons où l'auteur de la Note a puisé les renseignements qu'il donne sur le

On conviendra qu'une telle disposition ne pouvait être admise, et qu'en même temps qu'elle nécessitait des réparations considérables, en bandages surtout, elle n'en était pas moins ruineuse pour la voie.

Le travail pour séparer le tender de la machine, l'enlèvement des caisses à eau pour la moindre réparation, même pour la visite des ressorts, les difficultés en cas de déraillement, entraînaient des dépenses et des pertes de temps considérables.

Le changement de système était donc motivé et indispensable.

Que fallait-il faire?

L'auteur de la note dit : « que si on a renoncé aux engrenages, cela provient de ce que les mécaniciens n'avaient pas été intéressés par des primes aux économies de combustible, et que n'ayant pour eux que les peines, ils avaient tout fait pour arriver à leur suppression. »

Comment admettre que les directeurs du chemin, que M. Engerth et l'État aient pu, pour de tels motifs, renoncer au système d'engrenage, qui avait coûté tant de sacrifices, s'il avait été reconnu bon?

Comme nous l'avons déjà dit, les engrenages avaient été supprimés 7 à 8 ans avant notre arrivée, et ce n'est pas nous qu'on doit en accuser.

Bien plus, voulant nous éclairer et témoigner de notre bonne volonté pour l'auteur du système, nous avons fait remonter les engrenages à une machine. Cette machine fonctionne, mais les défauts originels du système *n'en subsistent pas moins* et en sont la condamnation.

Nous avons pesé la machine à engrenage n° 610, que nous avons fait venir à Vienne exprès, afin que le pesage pût se faire avec soin et certitude. Nous avons trouvé le résultat suivant :

1er essieu d'avant	15,250 kil.	67,650 kil.
2e — —	10,700	
3e — —	15,650	
4e — —	6,250	
5e — —	19,800	

La note porte ;

1er essieu d'avant	13,640 kil.	55,668 kil.
2e — —	12,390	
3e — —	12,970	
4e — —	8,057	
6e — —	8,611	

Que pourrons-nous ajouter après cette comparaison?

D'un autre côté, les résultats obtenus sous le rapport de la consommation du combustible ne présentent aucun avantage, ainsi qu'on le verra

poids et la répartition de la machine du Semmering, mais nous déclarons que ces chiffres sont tout à fait inexacts, ce dont on peut se convaincre tous les jours. H. D.

plus loin, et n'ont valu au mécanicien aucune part aux primes d'économie que nous avons introduites.

Quant à la dépense de graissage, elle est de plus du double de celle des autres machines.

Enfin nous devons ajouter que la conduite de la machine offre de telles difficultés que nous avons dû payer au mécanicien et au chauffeur, comme indemnité, une somme de 170 *francs* par mois pour les encourager et les dédommager de leur supplément de travail.

En présence de tous ces inconvénients on peut dire que la machine à engrenage du Semmering a été condamnée avec raison dès l'origine par les ingénieurs autrichiens, et elle l'est encore avec non moins de justice à la suite des dernières expériences, bien que les engrenages eux-mêmes aient fait leurs fonctions sans subir de rupture.

Voici maintenant les conditions dans lesquelles se trouve la machine modifiée par nous.

On sait que le quatrième essieu a été fixé à la machine et accouplé avec les trois premiers, et que le tender a été séparé. Les caisses à eau, qui étaient sur la machine, ont été supprimées, et, pour compléter le poids adhérent nécessaire et améliorer l'équilibre, nous avons dû armer le bâtl d'entretoises en fonte du poids de 3,500 kilogrammes, et à peu près également réparties sur la longueur de la machine qui, ainsi équilibrée, se trouve dans les conditions de poids les plus favorables. *Sans doute il eût été préférable de faire profiter la chaudière de ce supplément de poids par un agrandissement de la surface de chauffe, mais cela ne dépendait pas de nous.*

Voici la répartition de la charge sur les essieux de la machine modifiée :

1er essieu d'avant.	12,000 kil.		
2e — —	11,350		
3e — —	11,300		
4e — —	11,750. . .	46,400 kil.	adhérence
Tender, 1er essieu	9,000		
— 2e —	10,600. . .	19,600 kil.	—
Total.		66,000	

Soit une adhérence constante de 70,30 pour 100 du poids total, machine et tender, tandis que dans l'ancienne machine cette adhérence n'est que de 54 p. 100, et non de 70, comme cela semble résulter de la note en question. C'est donc tout le contraire de ce qui a été écrit qui est vrai.

La première machine, ainsi modifiée, a été mise en service au mois de septembre 1860 ; depuis, il en a été modifié cinq autres, et nous pouvons dire que leur travail a complétement répondu à notre attente. La charge,

qui était de 120 à 125 tonnes par train avec l'ancienne machine, a été portée à 175 tonnes, en sorte que les trains de marchandises ordinaires ne sont plus divisés qu'en deux parties pour le passage du Semmering.

C'est donc avec étonnement que nous lisons dans cette note : « que la « nouvelle machine doit marcher avec un notable accroissement de « résistance qui doit compenser, même pour la voie, l'avantage de la « réduction de charge des essieux. »

En effet, si la nouvelle machine marchait avec une notable augmentation de résistance il arriverait :

1° Que l'effort de traction développé par la machine, autrement dit la *consommation du combustible*, serait plus grande que la proportion due à l'augmentation de charge remorquée;

2° Que le supplément de charge remorqué par la nouvelle machine serait au-dessous de celle due au supplément d'adhérence.

Or, ni l'un ni l'autre de ces cas ne se présentent. Non-seulement la consommation de combustible (calculée sur une année et non sur quatre voyages, comme l'auteur en a présenté un exemple) n'a pas été augmentée, mais au contraire elle a subi une réduction, et quant au supplément de poids traîné, il est aisé de voir, par les données ci-dessus, qu'il est supérieur à celui dû à l'augmentation d'adhérence de la nouvelle machine.

De plus, les réparations sont rendues plus faciles; l'usure des bandages est notablement réduite et est plus uniforme. Nous avons la conviction que le prix des réparations, qui était de 1^{fr},576, sera réduit de plus de moitié pour les trains plus lourds, et qu'il nous sera permis de supprimer presque entièrement les grands ateliers de Murzzuschlag, qui autrefois avaient peine à suffire aux réparations du Semmering.

Déjà en 1861, avec le petit nombre de machines modifiées que nous possédons, nous avons réduit le parcours des trains de marchandises sur le Semmering de plus de 18 p. 100 pour un trafic égal, et nous pourrons, lorsque nous aurons étendu la transformation, assurer le service avec un tiers de machines de moins, qu'il nous sera possible de reporter sur le chemin du Brenner.

Le résultat, dont parle la note en question comme pouvant être atteint par la machine Engerth, sera donc *réalisé sans le secours de la machine inadmissible à engrenage.*

Quant à la voie, on sait ce qu'elle coûte d'entretien, et on peut affirmer qu'elle aura bien moins à souffrir de l'usage des nouvelles machines sous le double rapport de la réduction de charge des essieux et de la réduction du nombre de passages des machines.

Que pourrait-il rester encore, après ces explications que nous aurions voulu abréger, contre la nouvelle machine? Le parallélisme du quatrième essieu.

Mais ce que nous venons de dire de la force de traction supplémen-

taire, ou de la consommation de combustible, prouve déjà suffisamment que ce parallélisme n'entraîne pas de résistance notable. D'un autre côté, lorsqu'on saura que les voitures à 8 roues du chemin du Sud, et notamment les voitures-salons du train impérial, dont l'une pèse plus de 22 tonnes, *sont à essieux parallèles ayant* 8 *mètres* 20 *d'écartement*, et que ces voitures circulent sur le Semmering dans des trains spéciaux, marchant à plus de 30 *kilomètres à l'heure*, on conviendra qu'il ne peut y avoir d'inconvénient à admettre des machines avec entr'axe de $3^m,438$ pour des trains de marchandises dont la vitesse n'excède pas 15 à 18 kilomètres à l'heure.

L'appareil d'attelage (système Stradal) qui reporte l'effort de traction en avant du foyer, et le jeu latéral de 20 millimètres (et non de 40 comme l'indique la note) que le bâti peut prendre sur le quatrième essieu, permet d'ailleurs à la machine de se mouvoir avec facilité dans les courbes.

Enfin, n'a-t-on pas admis en dernier lieu, dans la machine Beugniot, un écartement de 4 *mètres*, supérieur par conséquent à celui des machines du Semmering?

Nous pensons que ces explications suffiront pour justifier la modification que nous avons apportée à la machine Engerth, et éloigner toute critique sérieuse. Nous convenons que la machine laisse encore à désirer, mais nous croyons avoir tiré le meilleur parti possible de l'ancienne disposition.

Nous terminerons ces explications en donnant le tableau comparatif des résultats obtenus par les trois systèmes de machines, et en faisant observer qu'ils ne s'accordent pas avec ceux donnés dans ladite note pour quatre voyages.

RÉSULTATS.	ANCIENNE ENGERTH à 6 roues couplées.	MÊME MACHINE (10 roues couplées) avec engrenage.	MACHINE MODIFIÉE à 8 roues couplées.
1° Charges moyennes remorquées..........	120 tonneaux.	175 tonneaux.	175 tonneaux.
2° Consommation de coke pour 100 tonneaux de charge, non compris, machine et tender, par kilomètre..........	$22^{ko},95$	$22^{ko},36$	$22^{ko},06$
3° Consommation d'huile par kilomètre.......	28 grammes.	61 grammes.	29 grammes.

Pour résumer notre opinion, nous dirons que si le problème de la meilleure machine pour un chemin comme le Semmering, ayant des courbes de 180 mètres et des rampes de 25 millimètres, n'est pas encore trouvé, l'emploi des machines à 8 roues accouplées avec essieux paral-

lèles de $3^{m},40$ d'écartement et tender séparé, est sans aucun inconvénient pour la sécurité (on a marché à plus de 45 à 50 kilomètres dans les courbes du Semmering); et que quant aux résultats économiques, ils sont incomparablement plus avantageux que ceux obtenus des machines Engerth, telles qu'elles existaient sur le Semmering.

Il y aurait, selon nous, inconvénient grave à employer des machines d'une plus grande puissance sur le Semmering, car d'une part l'obsorption de la force de traction dans les courbes constituerait une dépense notable; d'autre part on ne pourrait le faire qu'en changeant tous les attelages des wagons de la ligne du Sud, et en renonçant à l'usage des wagons étrangers. Enfin les chances d'accident dans les courbes seraient augmentées en raison de la longueur des trains.

Il a paru dans ces derniers temps bien des projets pour des machines à courbes, mais nous pensons qu'aucun de ceux qui tendent à accoupler des essieux non parallèles n'est pratique, et qu'on ne songera jamais à entreprendre des chemins de fer nécessitant l'emploi de telles machines. Si une machine à 8 roues couplées n'est pas suffisante, je crois qu'on doit chercher la solution dans l'emploi d'une machine ayant deux trains indépendants de 6 roues chacun, supportant une chaudière unique.

CONCLUSIONS.

Les trois notes de M. Desgrange justifient complétement la transformation qu'il a fait subir aux machines du Semmering, mais cette justification n'atteint pas le système des machines Engerth, comme type de machines de grande puissance.

Ce système qui, depuis l'échec des moyens de transmission aux roues du tender, consiste uniquement à faire porter au tender une partie du poids de la chaudière, a cet avantage particulier que rien n'y limite les dimensions qu'il convient de donner au foyer tout en conservant une grande longueur de tubes; or, ces dimensions tendent de plus en plus à s'accroître.

La compagnie du Nord a résolu la difficulté en ce qui concerne la longueur et la largeur du foyer, en le plaçant au-dessus des roues, mais cette disposition n'est possible qu'aux dépens de la hauteur du foyer, de la longueur des tubes et du diamètre des roues motrices.

Les compagnies du Midi et d'Orléans ont adopté un type nouveau de machines isolées du tender, à quatre essieux et huit roues couplées, dont le foyer d'un côté et les cylindres de l'autre sont en porte à faux à chacune des extrémités. L'équilibre des poids d'avant et d'arrière est étudié

dans ces machines avec le plus grand soin et il y a lieu de compter qu'au moins à la sortie du dépôt, et après le règlement sur le pont à pesage, le poids sera également réparti sur les essieux.

La surface de chauffe est, dans ce type, de 209 mètres carrés. L'une des deux compagnies a adopté le foyer Timbrinck; l'autre ne s'est pas prononcée encore sur le système de foyer. Mais la disposition en elle-même tend à limiter les dimensions et le poids du foyer. La base de la machine sera très-faible proportionnellement à sa longueur. L'équilibre sera détruit dans les fortes rampes. Les inégalités de la voie rendront l'équilibre instable. Le système exigera en toutes circonstances une faible vitesse de marche.

C'est cependant entre le type Engerth d'un côté, et le type nouveau adopté par les compagnies d'Orléans et du Midi, que se range la modification qu'ont reçues les machines du Semmering.

L'intérêt à la modification n'est pas contestable.

Le système Engerth a eu, comme tous les autres, son enfance et sa maturité et les machines du Semmering datent de la première époque. Leur auteur avait une grande foi dans le parti à tirer de l'excès d'adhérence; il comptait, avec 153^m de surface de chauffe, utiliser le poids tout entier de la machine et du tender (59 tonnes). L'insuccès de la transmission par engrenages réduisit le poids adhérent à 37 tonnes 5. C'était évidemment insuffisant. La modification a pour but de remédier à cet échec. Le type Engerth, du Nord, à huit roues couplées, qui utilise pour l'adhérence la presque totalité du poids de la machine, c'est-à-dire 40 t. 3, a 197^m de surface de chauffe et cette adhérence est insuffisante.

A ce point de vue donc, rien de mieux que l'intention de donner aux 153 mètres de surface de chauffe disponible un poids adhérent qui permette d'utiliser toute la puissance de la machine. Mais c'est sur les moyens qu'il faut s'entendre, c'est-à-dire sur le type de machine qui peut sortir de cette modification.

Or, d'avance on peut le dire, la transformation n'est pas irréprochable lorsqu'elle produit un type bâtard, incomplet, mal proportionné, n'ayant ni les avantages de la puissance ni ceux d'une stabilité réelle. Les principes qui doivent guider l'ingénieur sont dans ce cas les mêmes que s'il avait à construire une machine à nouveau, et il doit chercher à les observer autant que les ressources dont il dispose le lui permettent.

On croit répondre à ces vues en alléguant l'augmentation réalisée dans l'effort de traction par l'accroissement du poids adhérent, mais c'est dire que le bien obtenu dispense du mieux qu'on pouvait obtenir.

Nous ne devrions pas avoir à insister sur les avantages d'une augmentation de surface de chauffe, quand elle est possible. Assurément un des dangers de semblables discussions est de se laisser entraîner dans la comparaison de certains rapports dont les termes n'ont pas entre eux un lien absolu. A cet égard, la comparaison entre l'adhérence et la surface

de chauffe semble au premier coup d'œil trop absolue, parce que la pression de la vapeur, les dimensions des cylindres et leur relation avec le diamètre des roues ont une influence directe sur le patinage. Il en est de même de la relation entre la surface de chauffe et l'effort de traction au point de vue des circonstances qui interviennent dans l'emploi de la vapeur ; M. Desgrange sera alors fondé à dire qu'il ne partage pas complétement l'opinion que l'effort de traction est en raison de la surface de chauffe. Mais il est facile de revenir aux principes, en prenant les faits pour guide. Or, les faits de la construction des machines démontrent que les circonstances spéciales de l'emploi de la vapeur sont tellement identiques dans les types comparés, qu'il n'y a pas lieu de s'y arrêter. Dans les types de machines à marchandises spécialement, la pression et la distribution de vapeur sont semblables; les cylindres, les roues ont à peu près les mêmes dimensions relatives : c'est de ces faits qu'il faut partir.

Sans sortir du système Engerth, qui permet de donner au foyer des dimensions considérables en longueur comme en hauteur, il semble que la transformation des machines du Semmering eût pu se faire en prenant pour but le transport complet des trains de 350 tonnes, amenés au pied de la rampe.

Un pareil train exigerait un effort de traction de . . .	10 240 k.
auquel il faudrait ajouter l'effort correspondant au poids de la machine.	2 460 k.
Ce qui porterait l'effort de traction total à	12 700 k.

Cet effort exige, d'après le rapport 6, 5, adopté par M. Desgrange, un poids adhérent de 82,750 k. qui peuvent être répartis sur les quatre essieux couplés de la machine et sur trois essieux couplés du tender, sans excéder la charge de douze tonnes par essieu. La surface de chauffe comptée à 40 k. d'effort de traction par mètre carré de surface de chauffe au lieu de 46 qu'admet M. Desgrange, serait de 317^m, et elle serait facile à obtenir par un foyer de 12^m et un corps cylindrique de 5^m de longueur, contenant 375 tubes. La conduite de vapeur pourrait être faite aux cylindres du tender dans le système de Verpilleux, à défaut d'un moyen plus perfectionné.

Telle nous eût semblé une solution à rechercher.

Elle aurait sans doute pour conséquence d'exiger des modifications dans la force des attelages, et peut-être même dans le chargement des wagons, afin d'éviter une trop grande longueur de trains dans des courbes de faibles rayons, mais ces modifications se réalisent déjà sur plusieurs lignes.

A notre sens, dans une création nouvelle comme le Semmering, le premier souci d'un ingénieur doit être de continuer la pensée de son devancier fondateur, autant qu'elle peut l'être avec supériorité d'effets

et de résultats sur les autres moyens connus; or, cette pensée d'Engerth d'intéresser à l'adhérence tout le poids de la machine, nul mieux que M. Desgrange ne démontre par les faits combien elle est féconde. Tous les ingénieurs qui s'en sont approchés dans les divers types de machines ont contribué à l'amélioration du matériel des chemins de fer, ceux qui s'en sont systématiquement éloignés ont fait reculer l'art et les solutions économiques dans l'emploi de la locomotive aux transports.

DE

L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR.

PAR M. J.-B. BELANGER,

Professeur à l'École Centrale, Membre honoraire de la Société des Ingénieurs civils.

Depuis quelques années, la notion de *la valeur mécanique de la chaleur* est entrée dans l'enseignement public. Entre autres auteurs, M. Jamin, professeur à l'École polytechnique, a introduit dans le tome II de son Cours, publié en 1859, des considérations générales sur ce sujet, et y a cité des expériences pleines d'intérêt, par lesquelles M. Joule, de Manchester, est parvenu à déterminer approximativement la valeur de ce qu'on nomme *l'équivalent mécanique de la chaleur*.

Cette détermination semblait, en effet, être du domaine exclusif de l'expérience; mais un autre savant et ingénieux professeur, M. Bourget [1], a réussi à démontrer que si le corps soumis à l'action de la chaleur est un gaz permanent, successivement dilaté et contracté sans agitation, l'existence de l'équivalent mécanique de la chaleur dans ce cas est une conséquence rigoureuse de la loi de Mariotte combinée avec celle de Gay-Lussac, et des propriétés généralement admises pour les gaz, relativement à leurs chaleurs spécifiques, soit sous une même pression, soit sous un volume constant; et que la valeur numérique de cette nouvelle quantité ne laisse d'autre incertitude que celle qui peut exister sur la valeur supposée constante du coefficient de dilatation des gaz, et sur celles de leurs chaleurs spécifiques supposées également invariables.

Je me propose de reproduire ici, en l'abrégeant, la démonstration d'ailleurs très-claire de M. Bourget, et de l'appliquer à un énoncé plus général que celui auquel son auteur s'est arrêté.

[1] *Théorie mathématique des effets dynamiques de la chaleur donnée à un gaz permanent*, par M. J. Bourget, professeur de mathématiques à la Faculté des sciences de Clermont-Ferrand. (*Annales de Physique et de Chimie*, année 1859.)

I. RELATION CONNUE SUIVANT LES LOIS DE MARIOTTE ET DE GAY-LUSSAC.

Soit un gaz en quantité déterminée dont
P est le poids rapporté au kilogramme,
v le volume rapporté au mètre cube,
p la pression en kilogr. par mètre carré,
p_a étant la pression moyenne atmosphérique correspondante à la hauteur barométrique $0^m,760$, et par conséquent égale à $10\,333^{kg}$.
a le coefficient de dilatation,
t la température en degrés du thermomètre centigrade,
Π le poids du mètre cube à la température 0° et sous la pression p_a.
On a entre ces sept quantités la relation qui résulte des lois de Mariotte et de Gay-Lussac :

$$v = \frac{P}{\Pi}\frac{p_a}{p}(1+at), \text{ ou plus simplement } vp = k(1+at), \qquad [1]$$

k désignant une constante $\frac{p_a}{\Pi}P$ qui dépend de la nature du gaz et de la quantité en poids qu'on en prend. S'il s'agit, par exemple, de l'air atmosphérique, Π est $1^{kg},293187$ et $k = \frac{10\,333}{1,293187}P$.

II. VARIATIONS INFINIMENT PETITES DE VOLUME ET DE PRESSION. CHALEUR ABSORBÉE OU CHALEUR ÉMISE.

Supposons que, dans ce gaz, le volume et la pression passent des valeurs v et p à des valeurs infiniment rapprochées $v + \mathrm{d}v$ et $p + \mathrm{d}p$; en général, ce changement ne pourra s'opérer que parce que l'enveloppe du gaz lui fournira ou en recevra une certaine quantité de chaleur. Cherchons l'expression de cette quantité infiniment petite, que nous appellerons $\mathrm{d}q$, et qui doit résulter des accroissements des deux variables v et p indépendantes l'une de l'autre.

Faisons d'abord passer le gaz du volume v au volume $v + \mathrm{d}v$ sans changer la pression p. Soit t' la valeur, très-peu différente de t, que doit prendre pour cela la température.

On a donc, en vertu de la relation générale [1],

$$(v + \mathrm{d}v)p = k(1 + at), \qquad [2]$$

et, par suite de ces deux équations,

$$p\,\mathrm{d}v = ka(t' - t).$$

Puisqu'il s'agit ici d'un changement de température sans changement de pression, la quantité de chaleur qui a dû être fournie au gaz par son enveloppe pour cet accroissement $t' - t$ de température, est exprimée en calories par $P c (t' - t)$, ou, d'après l'équation précédente, par

$$\frac{Pc}{ka} p \, \mathrm{d} v,$$

P étant, comme nous l'avons dit, le poids du gaz en kilogr., et c étant *sa chaleur spécifique sous pression constante.*

Le gaz ayant ainsi acquis le volume $v + \mathrm{d} v$, faisons-le passer, sans changer ce volume, de la pression p à la pression $p + \mathrm{d} p$; appelons t'' la température nécessaire pour cela.

La formule générale [1] donne alors :

$$(v + \mathrm{d} v)(p + \mathrm{d} p) = k(1 + a t'') \qquad [3]$$

d'où, en retranchant l'équation [2], on a :

$$(v + \mathrm{d} v) \, \mathrm{d} p = k a (t'' - t'),$$

ou, plus simplement, en négligeant $\mathrm{d} v \, \mathrm{d} p$, comme infiniment petit du second ordre auprès de $v \, \mathrm{d} p$,

$$v \, \mathrm{d} p = k a (t'' - t').$$

La seconde quantité de chaleur qui a encore dû être livrée au gaz par son enveloppe, pour lui procurer l'accroissement $t'' - t'$ de température, sans variation de volume est, en calories, $P c' (t'' - t')$, ou, d'après l'équation précédente, $\frac{P c'}{k a} v \, \mathrm{d} p$, c' étant *la chaleur spécifique du gaz sous volume constant.*

Concluons que la chaleur abandonnée par l'enveloppe et absorbée par le gaz, dans son passage du volume v, sous la pression p, au volume $v + \mathrm{d} v$, sous la pression $p + \mathrm{d} p$, est la somme des deux quantités qui viennent d'être calculées;

ainsi

$$\mathrm{d} q = \frac{P}{ka} (c p \, \mathrm{d} v + c' v \, \mathrm{d} p),$$

ou bien, en posant

$$\frac{c}{c'} = \gamma, \qquad [4]$$

$$\mathrm{d} q = \frac{P c'}{k a} (v \, \mathrm{d} p + \gamma p \, \mathrm{d} v). \qquad [5]$$

Remarques. 1° On obtient le même résultat si l'on suppose que le gaz passe d'abord de la pression p à la pression $p + \mathrm{d} p$, sous le volume v, puis de ce volume v au volume $v + \mathrm{d} v$, sous la pression $p + \mathrm{d} p$; la seule différence est qu'alors on néglige $\mathrm{d} p \, \mathrm{d} v$ auprès de $p \, \mathrm{d} v$.

2° Les quantités v et p sont essentiellement positives; leurs différentielles $\mathrm{d}\,v$ et $\mathrm{d}\,p$ peuvent être soit positives, soit négatives. Si le volume et la pression augmentent, $\mathrm{d}\,q$ est positive; il y a chaleur cédée par l'enveloppe et absorbée par le gaz. Si le volume et la pression diminuent simultanément, $\mathrm{d}\,q$ est négative, et exprime la chaleur passée du gaz dans l'enveloppe. Enfin, si $\mathrm{d}\,v$ et $\mathrm{d}\,p$ sont de signes contraires, la différentielle $\mathrm{d}\,q$, si elle n'est pas nulle, peut être soit positive, soit négative, c'est-à-dire qu'il y a soit chaleur absorbée, soit chaleur émise.

III. VARIATION FINIE DU VOLUME ET DE LA PRESSION. CHALEUR ABSORBÉE OU ÉMISE.

Pour passer des valeurs initiales v_0 et p_0 du volume et de la pression à d'autres valeurs v_1 et p_1, et calculer l'échange correspondant de chaleur entre le gaz et son enveloppe, il suffit d'intégrer l'équation [5]. On a donc :

$$q = \frac{P\,c'}{k\,a}\left(\int_{p_0}^{p_1} v\,\mathrm{d}\,p + \gamma \int_{v_0}^{v_1} p\,\mathrm{d}\,v\right) \qquad [6]$$

q est la somme algébrique des éléments $\mathrm{d}\,q$ qui peuvent être les uns positifs, les autres négatifs, ou tous du même signe; suivant que cette somme est positive ou négative, c'est la chaleur définitivement reçue ou définitivement abandonnée par le gaz.

L'intégrale $\int_{v_0}^{v_1} p\,\mathrm{d}\,v$ est l'expression du travail que la pression du gaz exerce sur son enveloppe mobile, pendant qu'il passe du volume v_0 au volume v_1 avec la pression variable de p_0 à p_1, suivant une loi quelconque due à la variation de la température combinée avec celle du volume. Cela devient évident si l'on imagine que le gaz soit contenu dans un cylindre dont une base est fixe et l'autre mobile comme un piston. Si Ω est la section constante du cylindre et l sa longueur variable, on a $p\,\mathrm{d}\,v = p\,\Omega\,\mathrm{d}\,l$. Or $p\,\Omega$ est la pression totale du gaz sur le piston, et $p\,\Omega\,\mathrm{d}\,l$ le travail élémentaire de cette force, travail moteur ou résistant, positif ou négatif, suivant que $\mathrm{d}\,l$ est positif ou négatif, suivant que le volume augmente ou diminue.

$\int_{v_0}^{v_1} p\,\mathrm{d}\,v$ est la somme algébrique de tous les travaux élémentaires ainsi définis; c'est l'excès final du travail moteur du gaz contre son enveloppe mobile pendant qu'il se dilate, déduction faite de son travail résistant pendant qu'il se contracte.

Il convient de ramener à la même forme l'autre intégrale $\int_{v_0}^{v_1} v \mathrm{d}p$; en



appliquant la règle connue de l'intégration par parties, on a :

$$\int_{p_0}^{p_1} v\,\mathrm{d}p = v_1 p_1 - v_0 p_0 - \int_{v^0}^{v_1} p\,\mathrm{d}v,$$

ce qui se réduit évidemment à dire que l'aire $M_0 A_0 A_1 M_1$ est égale au rectangle $O L_1 A_1 M_1$, moins le rectangle $O L_0 A_0 M_0$, moins encore l'aire $L_0 A_0 A_1 L_1$.

Il en résulte que la formule [6] devient

$$q = \frac{P c'}{k a}\left[v_1 p_1 - v_0 p_0 + (\gamma - 1)\int_{v_0}^{v_1} p\,\mathrm{d}v\right]. \qquad [7]$$

En mettant à la place de $v_1 p_1$ et $v_0 p_0$ leurs valeurs en fonction de la température, savoir : $k(1 + a t_1)$ et $k(1 + a t_0)$, et en désignant par T l'intégrale, travail positif ou négatif, moteur ou résistant, exercé en définitive par le gaz sur son enveloppe, on obtient plus simplement :

$$q = P c' (t_1 - t_0) + \frac{P(c - c')}{k a} T. \qquad [8]$$

IV. CALCUL DU COEFFICIENT DE T.

Suivant les expériences de M. Regnault, on a, pour l'air atmosphérique, $a = 0{,}003665$ et $c = 0{,}2377$. Nous avons vu § I qu'on a pour ce même gaz

$$\frac{P}{k} = \frac{1{,}293187}{10333}.$$

Quant à c', il subsiste quelque incertitude. Gay-Lussac et Welter, cités par Poisson (*Mécanique*, tome II, page 646), ont obtenu pour le rapport $\gamma = \frac{c'}{c}$, dans l'air, la valeur 1,3748, et ils se sont assurés que cette quantité est indépendante de la température et de la pression. Par un procédé différent de celui de Gay-Lussac, Dulong a trouvé, pour l'air parfaitement sec, $\gamma = 1{,}421$, et une valeur sensiblement égale à celle-ci pour le gaz oxygène et pour le gaz hydrogène. Mais pour d'autres fluides, tels que l'acide carbonique et le gaz oléfiant, ce procédé a donné des valeurs très-inégales de γ et moindres que la précédente. M. Masson, suivant un

mémoire inséré aux *Annales de Chimie et de Physique*, tome LIII (1857), a trouvé $\gamma = 1,4148$. En adoptant ce nombre, d'où résulte

$$c' = \frac{c}{\gamma} = \frac{0,2377}{1,4148} = 0,1680,$$

on trouve, quel que soit le poids d'air que l'on considère,

$$\frac{P(c-c')}{ka} = \frac{1,293187 \times 0,0697}{10333 \times 0,003665} = \frac{1}{420};$$

et la formule [8] appliquée à l'air atmosphérique devient :

$$q = Pc'(t_1 - t_0) + \frac{T}{420}. \qquad [9]$$

V. INTERPRÉTATION DE LA FORMULE [9].

L'unité de q est une *calorie*, chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau. Cette quantité q, quand elle est positive, est la chaleur que le gaz a définitivement reçue de son enveloppe pendant son passage de l'état déterminé par les valeurs v_0, p_0 et t_0 du volume, de la pression et de la température, à l'état correspondant aux valeurs v_1, p_1 et t_1; et par là il ne faut pas entendre que pendant l'accomplissement du phénomène entier, il y ait eu continuellement chaleur reçue par le gaz, jamais chaleur rendue par celui-ci à l'enveloppe. Répétons que q est une intégrale, somme algébrique d'éléments qui peuvent être les uns positifs, les autres négatifs. Lorsque q est négatif, il exprime de même la chaleur définitivement émise par le gaz et reçue par l'enveloppe.

Le terme $Pc'(t_1 - t_0)$ positif ou négatif, exprime la chaleur qu'aurait reçue ou émise le gaz, si son élévation ou son abaissement de température $t_1 - t_0$ avait eu lieu sans variation de volume. C'est ce qui résulte de ce que c' est la chaleur spécifique du gaz sous un volume constant.

Le travail T ne dépend pas uniquement des valeurs extrêmes du volume et de la pression, v_0 et p_0 à l'instant initial, v_1 et p_1 à l'instant final; de même que dans la quadrature d'une courbe, outre les coordonnées des points extrêmes, il faut connaître la courbe qui les joint, de même le travail T exprimé par l'intégrale $\int_{v_0}^{v_1} p\, dv$ dépend des valeurs successives de la pression, lesquelles dépendent et du volume et de la température qui peut être supposée prendre telle valeur qu'on voudra, puisque la théorie précédente ne fait aucune restriction ou hypothèse relativement à la chaleur que l'enveloppe peut successivement donner au gaz ou en recevoir.

Le travail T est proportionnel au poids P du gaz; car si on venait à doubler ce poids, sans changer les valeurs de t et de p, la valeur de v serait partout doublée, ce qui reviendrait à doubler la section Ω du cylindre mentionné au § III.

Le dénominateur 420, au contraire, comme on l'a vu § IV, a été déterminé indépendamment du poids P.

Pour voir clairement ce que signifie ce dénominateur, considérons dans la formule [9] le cas où les deux températures extrêmes t_1 et t_0 sont égales; cette formule se simplifie et devient :

$$q = \frac{T}{420}. \qquad [10]$$

Supposons que, outre $t_1 = t_0$, on ait aussi $v_1 = v_0$, et par conséquent $p_1 = p_0$, de sorte que l'état final du gaz est complétement le même que son état initial. Ce cas est celui qu'a particulièrement étudié M. Bourget dans le mémoire que j'ai cité.

Le volume, pour varier et redevenir le même, a donc tantôt augmenté, tantôt diminué; le travail que le gaz a exercé sur son enveloppe a donc été tantôt moteur, tantôt résistant. Le travail définitif T est l'excès des travaux partiels moteurs sur les travaux résistants. Supposons qu'il soit positif, et rien n'empêche qu'il le soit, bien que le gaz soit revenu finalement à son état initial : par exemple, le travail T sera définitivement positif si le gaz, quand son volume croissait, a eu sa température, et par conséquent sa pression, plus élevées que lorsque le volume passait, en décroissant, aux mêmes valeurs qu'il avait dans la période d'accroissement.

T étant positif, l'équation [10] prouve que q l'est aussi et exprime autant de calories que le travail T contient de fois 420 kilogrammètres. Ainsi, chose déjà digne de remarque, *le gaz a reçu de son enveloppe plus de chaleur qu'il ne lui en a rendu, et cependant, à la fin du phénomène, il n'en contient pas plus qu'à l'instant initial*, puisqu'il est à la même température sous le même volume; mais, *au lieu de cet excès de chaleur, perdu, anéanti, le gaz a rendu du travail à l'enveloppe, à raison de* 420 *kilogrammètres par chaque calorie disparue*. Le gaz est comme un appareil, un outil qui, sans s'altérer, sans rien fournir de sa propre substance, transforme la chaleur en travail; et l'on comprend pourquoi le travail de 420kg. m. est nommé *l'équivalent mécanique d'une calorie*.

Si, au contraire, T est négatif, q l'est aussi; donc le gaz, quoique toujours revenu à son état primitif, a donné à son enveloppe plus de chaleur qu'il n'en a reçu, mais en échange de cette chaleur produite, créée, il a subi un travail positif exercé sur lui par l'enveloppe, laquelle réciproquement a reçu de la part du gaz un travail résistant, à raison encore de 420 kilogrammètres par chaque calorie créée.

Dans le cas général où les températures extrêmes t_0 et t_1 sont différentes,

la formule [9] exprime que *la chaleur* q *cédée au gaz par l'enveloppe*, déduction faite de celle qu'elle peut en avoir reçu, *se partage en deux parties :*

L'une égale à celle qui serait nécessaire pour produire dans le gaz l'acroissement de température $t_1 - t_0$ *sans variation de volume,*

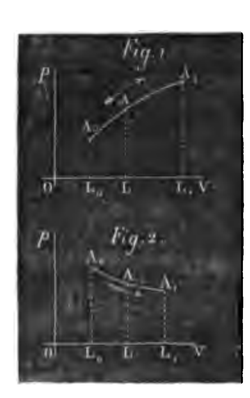
L'autre transformée en travail exercé par le gaz sur l'enveloppe, à raison de 420 kilogrammètres par chaque calorie en excès sur la première partie.

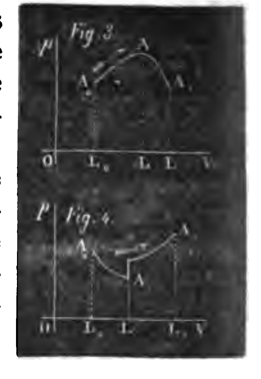
Il serait superflu de dire comment cet énoncé se modifie lorsque les quantités q, $t_1 - t_0$ et T deviennent négatives ensemble ou séparément.

VI. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU PHÉNOMÈNE.

L'interprétation de la formule [9], surtout en ce qui concerne la quantité T, est rendue plus claire par l'emploi des figures dont s'est servi M. Bourget, à l'imitation de celles dont on fait fréquemment usage pour représenter graphiquement le travail des forces. Soient deux axes coordonnés rectangulaires $O\,v$, $O\,p$. Sur l'axe $O\,v$, on porte, à partir de l'origine O, des longueurs proportionnelles aux diverses valeurs du volume v; ce sont, par exemple, les longueurs l occupées successivement par le gaz dans le cylindre dont l'aire de base est Ω. A l'extrémité de chacune de ces longueurs, on élève en ordonnée une droite représentant la pression p correspondante. On obtient ainsi des points tels que A, dont chacun exprime complétement l'état du gaz, puisqu'il en désigne le volume, la pression, et par conséquent la température, au moyen de la formule [1].

Cela posé, la courbe $A_0 A A_1$ exprime la loi continue qu'ont pu suivre les valeurs simultanées du volume et de la pression ; et l'ordre numérique des indices $A_0\, A_1 \ldots\ldots$ ou une flèche, marque dans quel sens successif la courbe est tracée à partir de la position initiale A_0. Si le volume a été continuellement en croissant, on a soit une courbe telle que celle de la *fig.* 1, où la pression croît en même temps que le volume, soit celle que montre la *fig.* 2, où la pression décroît, soit celle de la *fig.* 3, où la pression croît d'abord et décroît ensuite, soit une ligne comme celle de la *fig.* 4, où la pression commence par décroître quand le volume croît, puis le volume





reste stationnaire et la pression augmente, ensuite le volume se remettant à croître, la pression croît aussi.

Dans tous ces cas, et autres faciles à imaginer et à figurer, où le volume ne décroît pas, le travail $\int_{v_0}^{v_1} p\,\mathrm{d}v$ est positif et représenté par $A_0 A\, A_1 L_1 L_0 A_0$.

Si le volume décroissait continuellement, la ligne représentative serait tracée en sens contraire; ainsi il faudrait, dans les figures précédentes, changer le sens des flèches, et mettre A_0 et A_1 l'un à la place de l'autre.

Le travail T égal à $\int_{v_0}^{v_1} p\,\mathrm{d}\,v$ serait représenté, dans ce cas, par la même aire prise négativement.

Si le volume croît d'abord, puis décroît, la courbe représentative des états successifs du gaz aura une forme analogue à celles des *fig.* 5, 6 et 7. Dans le cas des *fig.* 5 et 6, le travail sera exprimé par l'aire $A_0 A' A'' L'' L_0 - A'' A_1 L_1 L''$; dans le cas de la *fig.* 7, par l'aire $A_0 A' A'' L'' L_0 - A'' A''' A_1 L_1 L''$.





On trouverait aussi facilement le tracé et la signification de la figure qui conviendrait, au cas où le volume décroîtrait d'abord et augmenterait ensuite.

Enfin, si le volume et la pression, après avoir varié, reviennent l'un et l'autre à leurs premières valeurs, comme dans le cas particulier mentionné au § V, le travail T est exprimé soit par l'aire contenue dans une courbe fermée (*fig.* 8), aire positive ou négative, suivant le sens des flèches 1 ou 2, soit par la différence de deux aires comprises dans deux portions d'une courbe fermée (*fig.* 9).

VII. Cas particuliers où l'enveloppe ne recevrait ni ne donnerait jamais aucune chaleur.

Dans ce cas, nous ne disons pas que la température reste constante (nous

allons voir qu'elle varie en même temps que le volume), mais la chaleur élémentaire transmise, que nous avons désignée par dq, est constamment nulle. Par conséquent, d'après la formule [5], on a

$$v\,dp + \gamma p\,dv = O.$$

En divisant par vp pour séparer les variables, on a :

$$\frac{dp}{p} + \gamma\frac{dv}{v} = O;$$

d'où, en intégrant,

$$\log. p + \log. v^{\gamma} = \text{const.} = \log. p_0 + \log. v_0^{\gamma};$$

donc

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v}\right)^{\gamma} \text{(*)} \qquad [11]$$

ce qui donne la loi suivant laquelle la pression varie avec le volume.

Pour trouver la loi qui règle la température, rappelons-nous qu'on a :

$$pv = k(1 + at) \text{ et } p_0 v_0 = k(1 + at_0);$$

d'où

$$\frac{1 + at}{1 + at_0} = \frac{pv}{p_0 v_0};$$

donc, après l'équation [11],

$$\frac{1 + at}{1 + at_0} = \left(\frac{v_0}{v}\right)^{\gamma - 1} \quad \text{ou} \quad \frac{1 + at}{1 + at_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}; \qquad [12]$$

d'où l'on peut tirer t variable en fonction soit du volume, soit de la pression.

Calculons, dans cette hypothèse, le travail T. En faisant $q = o$ dans l'équation [7], on a immédiatement

$$T = \int_{v_0}^{v_1} p\,dv = \frac{v_0 p_0 - v_1 p_1}{\gamma - 1} = \frac{v_0 p_0}{\gamma - 1}\left(1 - \frac{v_1 p_1}{v_0 p_0}\right),$$

(*) Les équations [11] et [12] ont été données par Poisson (*Mécanique*, tome II, page 647, *Formules* [6]), au moyen d'une analyse beaucoup moins simple que celle que nous devons à M. Bourget.

ou, d'après l'équation [11],

$$T=\frac{v_0 p_0}{\gamma-1}\left[1-\left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{\gamma-1}\right] \quad (*) \qquad [13]$$

Exemple. Si l'on suppose $v_1=2v_0$, on trouve $T=0{,}602\,v_0 p_0$, et pour la température finale $t_1=0{,}75\,t_0-68$.

(*) La formule [13] se déduit immédiatement de celle de Poisson [11], car on a en remplaçant p par $p_0 \frac{v_0^\gamma}{v^\gamma}$.

$$T=\int_{v_0}^{v_1} p\,dv = p_0 v_0^\gamma \int_{v_0}^{v_1} v^{-\gamma} dv = \frac{p_0 v_0^\gamma}{1-\gamma}\left(v_1^{-\gamma+1}-v_0^{-\gamma+1}\right)$$

$$=\frac{p_0 v_0}{\gamma-1}\left(1-\left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{\gamma-1}\right),$$

et je me fais un devoir de consigner ici un fait parvenu à ma connaissance depuis que ce mémoire est rédigé : c'est que, antérieurement à 1860, M. P. Callon, professeur à l'École des mines, a déterminé, à l'aide de la formule [13], la valeur numérique de l'équivalent de 1 calorie en travail, par la considération suivante :

Si l'on suppose qu'un poids P de gaz, sous le volume v_0 et la pression p_0, se détende jusqu'à prendre un volume infini sans emprunter aucune chaleur extérieure, il exercera sur le piston mobile un travail donné par la formule [13], dans laquelle $\frac{v_0}{v_1}$ devient nul. Ainsi tout le travail possible dans cette hypothèse est

$$T=\frac{v_0 p_0}{\gamma-1}.$$

Si l'on imagine que ce même gaz reçoive sous le même volume initial v_0 une pression p_0' obtenue en élevant la température de 1°, il faudra pour cela lui fournir la chaleur exprimée en calories par

$$C=Pc',$$

et alors le travail qu'il sera possible d'en tirer sera

$$T'=\frac{v_0 p_0'}{\gamma-1};$$

donc l'augmentation de travail due à C calories sera

$$T'-T=\frac{v_0 p_0'-v_0 p_0}{\gamma-1}.$$

Or $\qquad v_0 p_0 = k(1+a t_0)$ et $v_0 p_0' = k(1+a(t_0+1))$;

donc $\qquad v_0 p_0' - v_0 p_0 = ka$;

donc le travail dû à une calorie est

$$\frac{T'-T}{C}=\frac{ka}{Pc'(\gamma-1)}=\frac{ka}{P(c-c')};$$

c'est précisément l'inverse du coefficient de T, ou le dénominateur de T dans la formule [8].

VIII. CAS PARTICULIER OU LA TEMPÉRATURE EST CONSTANTE.

Alors vp est constant; c'est le cas de la formule [10]

$$q = \frac{T}{420}.$$

La valeur de T s'obtient suivant une formule connue :

$$T = \int_{v_0}^{v_1} p\,\mathrm{d}v = v_0 p_0 \int_{v_0}^{v_1} \frac{\mathrm{d}v}{v} = v_0 p_0 \log.\text{hyp.} \frac{v_1}{v_0} = 2{,}3026\, v_0 p_0 \log.\text{ord.} \frac{v_1}{v_0}.$$

Exemple. Si $v_1 = 2\,v_0$, on trouve $T = 0{,}693\,v_0 p_0$; mais l'enveloppe a dû abandonner de la chaleur au gaz, savoir : autant de calories qu'il y a de fois 420 kilogrammètres dans le travail T.

IX. ESSAI D'UNE GÉNÉRALISATION DE LA THÉORIE PRÉCÉDENTE.

La démonstration qui précède s'applique à un gaz; que devient-elle, comment énoncer la proposition qu'elle établit, s'il s'agit du choc de deux corps solides et de la chaleur qui en résulte? Où est l'enveloppe qui tout à l'heure exerçait le travail et fournissait ou recevait la chaleur? La démonstration qu'on vient de voir, non-seulement s'applique à un gaz dans lequel on distingue deux sortes de chaleurs spécifiques, ce qui n'a pas lieu dans un liquide, mais encore elle suppose que le gaz n'a qu'un mouvement assez lent pour qu'à un même instant la pression soit la même en tous ses points, et qu'il en est de même de sa température, soit qu'elle augmente, soit qu'elle diminue. Qu'arrivera-t-il si ces conditions ne sont pas remplies? Si, par exemple, comme dans une expérience due à M. Joule, on a deux vases fermés, l'un rempli d'air à une haute pression, l'autre vide, et si l'on ouvre un robinet de communication qui fasse précipiter le gaz du premier vase dans le second, peut-on expliquer le fait qu'il n'y a définitivement point de chaleur créée ou anéantie, en disant que l'air n'exerce aucun travail sur son enveloppe immobile, sans tenir compte de l'agitation très-grande mais momentanée de ce gaz? Je crois que, pour répondre à ces questions, il faut, dans l'énoncé de la propriété de l'équivalent mécanique de la chaleur, faire entrer la considération des forces intérieures du corps en mouvement, qui ont certainement des relations étroites avec la chaleur.

La considération des forces intérieures est tout naturellement introduite dans une question de mécanique, à l'aide du théorème général et bien connu de l'effet du travail, dont je rappelle ici l'énoncé :

Quel que soit le mouvement d'un système matériel, l'accroissement algébrique de sa puissance vive, après un déplacement quelconque, est égal à la somme algébrique des travaux des forces tant extérieures qu'intérieures qui ont agi sur les divers éléments du système pendant ce déplacement, quelle qu'en soit la durée, le travail des forces intérieures ne dépendant que de leurs intensités et des mouvements relatifs de ces éléments.

Appliquons cette proposition au gaz qui est l'objet de la démonstration qui précède. Il est en repos au commencement comme à la fin du phénomène; l'accroissement de sa puissance vive est nul; donc le travail des forces extérieures, c'est-à-dire des forces exercées par l'enveloppe mobile est égal et de signe contraire au travail des forces intérieures, c'est-à-dire des forces mutuelles des molécules du gaz. Or le travail des forces exercées par l'enveloppe est égal et de signe contraire au travail T qui, d'après sa définition, est exercé par le gaz sur son enveloppe; donc, dans l'équation [9], on peut considérer T comme exprimant le travail des forces intérieures, q restant la chaleur fournie au gaz par son enveloppe.

On doit donc considérer comme démontré, au moins dans certaines conditions, que *si un système matériel est en mouvement, de manière que ses forces mutuelles intérieures fassent un travail, il y a de la chaleur anéantie ou de la chaleur créée, selon que ce travail est moteur ou est résistant, et toujours à raison d'une calorie par 420 kilogrammètres de travail. La perte ou la production de chaleur se manifeste par l'abaissement, dans le premier cas, ou par l'élévation, dans le second, de la température, tant du système lui-même que des corps environnants.*

X. APPLICATION DE L'ÉNONCÉ GÉNÉRAL A DES EXEMPLES.

Essayons d'appliquer cet énoncé à des cas que la démonstration ne comporte pas. Ici, nous ne démontrons plus, nous hasardons ce que les physiciens appellent une théorie.

1° *Expérience de M. Joule sur les deux vases communiquants,* mentionnée tout à l'heure et rapportée par M. Jamin (*Cours de Physique,* t. II, p. 436). Si l'on considère l'ensemble du phénomène depuis l'instant de l'ouverture du robinet de communication jusqu'à celui où le calme du gaz est rétabli, la variation de puissance vive est nulle, et par conséquent le travail des forces intérieures est égal en valeur absolue à celui des forces extérieures. Or, l'enveloppe étant immobile, le travail des forces extérieures est nul; donc le travail T des forces intérieures l'est aussi. L'équation [9] se réduit donc à

$$q = P c' (t_1 - t_0);$$

donc si l'enveloppe n'a fourni ni reçu définitivement aucune chaleur, les températures initiale et finale du gaz sont égales. C'est ce que l'observa-

tion confirme. Mais si l'on constatait les températures à l'instant où le gaz est fortement agité, et par conséquent sa puissance vive considérable, le terme T de l'équation [9] serait positif, et il en serait de même de la quantité $q + Pc' (t_0 - t_1)$. Il y aurait chaleur disparue, puisqu'il y aurait simultanément abaissement de température de l'enveloppe et du gaz. Dans le phénomène complet dont nous avons parlé d'abord, il s'opère une compensation; le travail intérieur, positif pendant que l'agitation augmente, devient négatif quand elle diminue.

2° *Autre expérience de M. Joule*, citée par M. Jamin (page 438). Une certaine quantité d'eau ou de mercure est agitée par une roue à axe vertical et à palettes. Des cloisons fixes, adhérentes à la cuve qui contient le liquide, gênent son mouvement et augmentent son agitation. Une fois le régime établi, il n'y a plus d'accroissement de puissance vive; donc le travail T des actions mutuelles (qu'on les attribue aux chocs ou au frottement, n'importe) est égal en valeur absolue au travail moteur de la force extérieure qui entretient le mouvement de la roue, et il est négatif. Si le système matériel embrasse le liquide, la cuve et la roue, et qu'on le suppose préservé de tout échange de chaleur avec les corps environnants, il faut faire dans l'équation [9] $q = o$ et T négatif; on a ainsi

$$Pc' (t_1 - t_0) = \frac{T}{420};$$

l'accroissement de température est proportionnel au travail T qui croît avec la durée de l'expérience.

3° L'explication et le calcul de la chaleur produite par le frottement avec ou sans limaille sont les mêmes que pour le cas précédent.

4° On allonge une lanière de caoutchouc en la tirant par les deux bouts. Le travail exercé par les deux forces extérieures depuis l'instant initial jusqu'à celui où l'on s'arrête est positif; la puissance vive redevient nulle; donc le travail des forces intérieures est négatif; donc il y a chaleur produite, ce que l'on reconnaît en appliquant la lanière sur ses lèvres. M. Jamin, qui signale cette expérience, dit qu'on tire *vivement* la lanière : c'est afin d'éviter la dispersion de la chaleur créée avant qu'elle ait pu être constatée; autrement le temps n'y ferait rien.

Il ajoute que quand, après avoir tenu la lanière pendant quelque temps dans l'état de tension, on la laisse se contracter par son élasticité, elle se refroidit. Si notre théorie est juste, il faut, pour bien faire cette expérience, ne laisser la lanière se détendre qu'en la retenant assez pour l'empêcher de vibrer et de conserver ainsi de la puissance vive.

5° Un corps animé d'une grande vitesse, due, par exemple, à sa chute d'une grande hauteur, est subitement arrêté par son choc contre un autre corps formant obstacle immobile. Si ces deux corps n'ont que très-peu d'élasticité, ils restent unis en subissant une déformation permanente plus ou moins prononcée, mais sans vibration sensible après la

collision. La puissance vive initiale du corps choquant a disparu par l'effet du travail résistant des forces intérieures du système des deux corps, travail numériquement égal à cette puissance vive, ou, si l'on veut, égal au produit du poids du corps choquant multiplié par la hauteur dont il aurait dû tomber, dans le vide, pour acquérir la vitesse qu'il avait à l'instant du choc. Il y a donc chaleur produite à raison d'une calorie pour chaque équivalent contenu dans ce même travail.

XI. Conclusion.

Les exemples qu'on vient de voir montrent comment il faut comprendre la proposition énoncée à la fin du § IX, et comment on pourrait l'appliquer dans des cas moins simples, en faisant toujours usage du théorème de l'effet du travail. J'ai adopté, dans cet énoncé, les expressions usitées : chaleur créée, chaleur anéantie, parce qu'elles font bien entendre que la chaleur tantôt augmente, tantôt diminue sans aucun échange de chaleur avec des corps extérieurs. Mais à la place de deux aphorismes aujourd'hui acceptés, mais trop laconiques, savoir :

Chaleur créée par le travail détruit, — travail créé par la chaleur détruite,

je propose de dire plus clairement :

Chaleur créée par le travail résistant des forces intérieures mutuelles,
Chaleur détruite par le travail moteur des forces intérieures mutuelles.

Quant à la valeur de l'équivalent mécanique d'une calorie, les expériences de M. Joule lui ont donné des résultats variant de 418 à 451 kilogrammètres. La théorie de M. Bourget donne pour l'air atmosphérique 420, et, pour d'autres gaz, elle donnerait des valeurs un peu différentes. L'incertitude de cette détermination théorique tient nécessairement à celle des données sur lesquelles elle s'appuie. Le coefficient a de la formule $vp = k(1 + at)$ n'est pas rigoureusement le même pour tous les gaz, et dans un même gaz, il varie un peu, suivant qu'on fait varier la pression sous un même volume ou le volume sous la même pression. On a vu § IV que d'habiles physiciens ont trouvé des valeurs très-inégales pour le rapport γ des chaleurs spécifiques des différents gaz considérés tantôt sous une même pression, tantôt sous un même volume.

L'équivalent de 420 kilogrammètres par calorie ne doit donc être, quant à présent, admis que comme une approximation d'ailleurs bien suffisante pour les applications utiles qu'on voudrait faire de cette théorie.

NOTE

SUR LES DÉCINTREMENTS AU MOYEN DU SABLE,

PAR M. BEAUDEMOULIN,

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées en retraite.

Le procédé de décintrement des grandes voûtes, au moyen du sable, est maintenant très-répandu, même à l'étranger.

Il a été compris dans l'envoi que le ministère des travaux publics a fait pour la France à l'Exposition de Londres; une notice à son sujet fait partie du recueil qui a été publié et distribué pour cette circonstance.

Le cadre fort restreint dans lequel s'est renfermé l'auteur de cette notice m'a paru très-insuffisant pour l'intelligence tant du système lui-même que des applications dont il peut être susceptible.

Je crois utile, dans l'intérêt de l'art, de rappeler ici quelques principes et faits déjà publiés par moi dans les *Annales des ponts et chaussées*, mais qui peuvent n'avoir pas été suffisamment retenus ou compris, par suite de leur répartition dans plusieurs articles ayant paru à de longs intervalles.

La *Société des ingénieurs civils* embrasse dans ses études toutes les branches de l'art de l'ingénieur, considéré dans son acception la plus étendue: elle pourra trouver, à l'emploi du sable, des applications nouvelles et variées. — Je lui adresse donc mon opuscule, qui sera d'ailleurs un témoignage de ma gratitude pour l'accueil bienveillant que j'ai rencontré près d'elle.

C'est en 1847 que j'ai employé le sable. J'étais alors ingénieur en chef de la 1re section du chemin de fer de *Tours à Bordeaux;* j'avais à décintrer deux viaducs, dont l'un, celui du *Port de Piles,* sur la *Creuse,* avait trois arches surbaissées de 31 mètres d'ouverture chacune.

J'avais vu précédemment appliquer, au décintrement d'arches de 20 mètres, les coins en chêne réunis par paires, et qui étaient d'un usage à peu près général.

Ces coins refusaient *absolument* de glisser, bien que frappés à grands coups de masse, et nonobstant des précautions préliminaires de graissage, savonnage ou même interposition de plaques métalliques.

On était réduit à ruiner avec la hache chacune des paires de coins,

après avoir placé près d'elle une cale ou bille en bois, moins haute de cinq centimètres : puis on ruinait celle-ci, près de laquelle on en avait placé une autre moins haute encore, et ainsi de suite.

Le cintre *tombait* par parties et fort inégalement, car la ruine des coins ou cales ne pouvait être *simultanée*. Ces mouvements saccadés, irréguliers produisaient dans les bois d'horribles craquements et parfois des ruptures; ils déterminaient dans la voûte des forces vives fort dangereuses; — il y a des exemples, et j'en pourrais citer, d'écroulement pendant ou peu après l'opération.

Très-ordinairement l'arche était seulement déformée : on rétablissait les têtes de douelles, suivant une courbe continue ou *sans jarrets*, par des recoupes dans les voussoirs, dont les joints cessaient d'être normaux; le reste de la voûte était raccordé le mieux possible par des surfaces gauches.

L'application de ce procédé à des arches surbaissées de trente et un mètres d'ouverture me paraissait chanceuse. — J'ai dû chercher d'autres moyens.

J'ai d'abord essayé, avec une presse hydraulique, deux, puis trois coins, liés par un boulon à écrou, et dont j'ai fait varier les inclinaisons même au delà des limites possibles, pour la pratique. Je comptais régler la descente en desserrant peu à peu l'écrou.

Ces coins, soumis à une charge de 45,000 kilogrammes, qui était celle que devaient porter les points d'appui centraux, refusaient de glisser, par les faces horizontales, appliquées sur les semelles, et j'ai reconnu qu'on n'en pouvait rien tirer d'utile pour la solution cherchée.

Après avoir bien pensé à d'autres agents, je suis arrivé au plus simple et au plus efficace, *l'emploi du sable*.

La *quasi-fluidité* et l'*incompressibilité* presque absolue de cette substance étaient bien connues, tant par les expériences faites à *Genève*, en 1829, que par celles de M. *Niel*, alors capitaine du génie, et qui ont été publiées dans le *Mémorial du Génie* de 1835 ; des applications en grand, à la fondation des édifices, avaient été faites dès 1822, au canal de Saint-Martin, par M. l'ingénieur des ponts et chaussées *Devilliers*, plus tard inspecteur général, puis, en 1826, par M. le colonel d'artillerie *Durbach*, en 1830, par M. le capitaine du génie *Gauzence*, etc., etc.

Les deux qualités précitées étaient favorables à l'application que j'avais en vue. — J'ai donc essayé, à la presse hydraulique, du sable siliceux, préalablement chauffé sur une plaque de tôle et contenu dans un sac en forte toile, le tout s'est très-bien maintenu à la pression de 45,000 kilogrammes; j'ai poussé celle-ci jusqu'à 60,000 kilogrammes, et le sac s'est crevé sur 0^m40, environ de longueur.

Le sable s'est écoulé par cette ouverture, mais superficiellement, avec lenteur et sans réaction notable.

J'ai conclu de ce fait une troisième qualité plus importante encore dans l'espèce que les deux premières : c'est la *non-élasticité* du sable agglo-

méré par la pression, de manière à former un corps solide. Je reviendrai plus loin sur ce fait.

A la suite de cette expérience, j'ai pu indiquer le procédé comme *infaillible* à M. l'ingénieur *Desnoyers*, qui a fait la première application : j'ai seulement demandé que le sable fût séché à l'air et non chauffé, afin de diminuer son action, très-faible d'ailleurs, sur la toile.

J'avais fait monter les cintres du viaduc de la *Creuse*, et d'un autre sur la *Vienne*, près de Châtellerault, construit en même temps, sur des billes en bois de sapin, posées debout et faciles à bûcher.

Au moment choisi pour décintrer, on a placé près de chaque bille un sac plein de sable bien sec, posé sur une planche en chêne de 3 à 4 centimètres d'épaisseur. Entre la planche et la semelle d'appui, on a fortement battu des coins, qui arrondissaient la planche et tassaient le sable autant que possible.

On a ensuite recoupé à la hache les billes, en forme de biseau, par deux opérations : la première réduisait la base à un rectangle de cinq centimètres de largeur ; la seconde à une arête. — D'abord, les billes s'enfonçaient un peu dans le bois de la semelle et y traçaient une empreinte ; ensuite, les arêtes s'émoussaient graduellement, le cintre reposait à plein sur les sacs, et les billes étaient facilement enlevées.

Le tassement des sacs de sable, que j'ai appelé *initial*, était, pendant cette opération, d'environ deux centimètres.

Les sacs avaient deux *gueules*, bien fermées chacune par une ficelle ; ils avaient de plus quatre petits tuyaux en toile, ou *ajutages*, également fermés. — On ouvrait à chaque sac un *ajutage*, on grattait, avec une règle introduite, le sable qui s'écoulait, et ainsi de suite.

Le cintre entier descendait par mouvements très-doux, insensibles même, sans faire entendre le moindre craquement : quand il était séparé de la voûte, on ouvrait les gueules pour aller plus vite.

Alors se produisait un fait remarquable : le sable aggloméré sous cette pression de 45,000 kilogrammes, était devenu un corps solide moulé dans l'enveloppe ; il conservait cette forme nonobstant l'ouverture des *gueules*, dont le diamètre était de $0^{m},30$; il fallait gratter avec les doigts pour diviser la portion qu'on voulait extraire.

Dans cette circonstance, le sable avait été séché à l'air, non au feu, et la *non-élasticité* se montrait *presque absolue*. — Je citerai encore un autre fait, dans le même sens ; un coup de hache a été appliqué, par expérience, sur un sac portant sa portion de cintre et de voûte : il a produit une large ouverture, mais un faible écoulement superficiel, sans aucune réaction.

J'insiste sur ce fait, parce qu'un ingénieur a voulu perfectionner le système en introduisant, au milieu de chaque sac de sable, un tube en caoutchouc plein d'eau et muni d'un robinet. — J'ai réfuté dans les *Annales des ponts et chaussées* cette innovation, bien qu'elle ait été appli-

quée sans accident. J'avais moi-même pensé à l'emploi de l'eau avant celui du sable, mais j'ai compris de suite qu'un corps *élastique* comme l'eau ne pouvait convenir.

Tout ce qui précède est, *quant aux décintrements*, l'analyse d'un mémoire publié dans les *Annales des ponts et chaussées* (1849, 5e cahier), par M. l'ingénieur Desnoyers, et auquel j'ai ajouté quelques pages. — Je recommande à l'attention ce mémoire, qui présente en outre divers procédés utiles, et entre autres ceux relatifs à la fondation par caisson, qui viennent encore d'être appliqués aux quatre derniers ponts construits à Paris : *Solferino, Saint-Michel, au Change*, et *Louis-Philippe*.

J'ai donné ici quelques détails sur l'emploi du sable *dans des sacs*, parce qu'il est à peu près indispensable, dans certains cas que j'indiquerai bientôt, et aussi parce que la notice publiée pour l'Exposition universelle de *Londres* se borne à cette *seule mention* (page 255 du recueil) : « La pre- « mière application a eu lieu au moyen de sacs dans lesquels le sable « était renfermé. » Elle ne s'occupe ensuite que des cylindres en tôle.

On pourrait croire, d'après cela, que cette application a été *unique*, tandis qu'elle a été renouvelée bien des fois, toujours avec plein succès, par MM. les ingénieurs Desnoyers, Compaing, Drouets, etc., puis par MM. Couche et Petit, qui ont construit le pont *Napoléon*, de Bercy, *un an* avant l'exécution de celui d'*Austerlitz*.

M. Desnoyers a, sur ma demande, introduit un perfectionnement dont j'ai rendu compte dans les *Annales*, et qui donne à l'emploi des sacs toute la régularité désirable.—Il a muni chaque ouvrier d'une mesure, un petit verre à boire : tous les verres étaient d'abord remplis de sable; puis l'écoulement était arrêté par une simple pression du pouce sur l'ajutage; puis les verres étaient vidés en même temps et on recommençait.

La notice précitée ne dit rien des *propriétés du sable :* elle s'occupe uniquement de l'enveloppe ou des cylindres en forte tôle « auxquels, dit-elle, avait, dès l'origine, pensé M. de *Sazilly*. »

Or, l'origine remonte à 1847 : c'est à moi que mon ami, feu de *Sazilly*, avait communiqué sa pensée; c'est moi qui l'ai fait connaître dans un article en date du 9 mars 1854 (*sept ans après l'origine*), publié par les *Annales des ponts et chaussées*, et dans lequel j'exprimais la crainte que le sable ne fût mouillé dans les cylindres, soit par les eaux pluviales, soit par celles que jettent abondamment les poseurs, pendant la construction des voûtes.

On lit en effet dans le compte rendu de la première application des cylindres faite au pont d'*Austerlitz*, par M. le conducteur *Bouziat* (journal l'*Ingénieur* du 15 octobre 1855), que « pour quelques-uns des cylindres, le sable a été *mouillé*, « mais qu'on est toujours venu à bout de l'extraire, au moyen d'un crochet en fer. »

On peut, avec des soins, prévenir le mouillage du sable, et j'ai, dans les *Annales*, indiqué des moyens qui ont quelque importance pour le pro-

cédé *différentiel*, dont je parlerai plus loin. Le garnissage en plâtre, qu'on fait ordinairement et qui est indiqué par la *notice précitée*, est insuffisant et a d'ailleurs l'inconvénient de donner de l'humidité au sable avec lequel il est mis en contact.

Le pont de l'*Alma* est le premier où j'aie pu suivre et étudier l'application des cylindres en tôle. Elle a montré là des inconvénients assez graves, que la *notice* publiée pour l'Exposition aurait dû, je crois, mentionner, puisqu'elle s'occupait *uniquement* des cylindres.

A ce pont, on a commencé par monter entièrement les cintres sur des *billes* en bois. — Ensuite, on a placé près de chaque bille un petit appareil à verrins en fer, au moyen duquel on écartait un peu les deux semelles, de manière à pouvoir retirer la bille et glisser à sa place un cylindre avec son piston.

L'ajustage n'était pas facile et, pour un certain nombre de cylindres, on a été obligé de battre des coins en bois entre la semelle supérieure et le piston *tenu un peu bas*, afin de faciliter l'entrée. — Les coins donnaient à celui-ci une inclinaison qui aurait pu devenir dangereuse, si la descente possible n'eût pas été faible ; j'ai vu des cylindres qui avaient servi dans ces conditions et qui se trouvaient *faussés* vers la base.

Les coins ont en outre l'inconvénient de diminuer de leur plus grande épaisseur la course possible du piston : — au pont de l'*Alma* l'intervalle entre les semelles était de $0^m,50$; la hauteur d'un cylindre avec sa plateforme était de $0^m,34$; il restait donc $0^m,16$ pour le *maximum* possible de la descente du piston, et ce *maximum* s'est trouvé réduit à 10 centimètres par les coins. — Les pistons qui n'en avaient pas auraient pu baisser davantage, mais celui qui descendait le moins réglait et arrêtait le mouvement général pour une arche.

Les tassements du pont de l'*Alma* ayant été bien plus grands que la course possible des pistons, on n'a pas pu décintrer avec les premiers cylindres ; on les a remplacés, toujours au moyen des verrins, par d'autres moins hauts et l'opération n'a pu être achevée que très-difficilement.

Il est évident qu'il eût mieux valu placer près des premiers cylindres, dès que leur insuffisance était connue, des sacs de sable permettant un affaissement égal à l'écartement des semelles, moins l'épaisseur de la toile et d'une planche ($0^m,10$ au plus) ; mais les cylindres, qui avaient pris naissance aux ponts de Paris, avaient fait oublier les sacs ; c'était toute une invention, on ne voyait rien au delà. — Néanmoins on les a depuis débarrassés des billes et des verrins ; on élève maintenant les cintres sur les pistons, sans intermédiaires, comme je l'avais conseillé dans un article des *Annales*.

Je dois insister ici sur le *grand avantage* des sacs, qui semble méconnu nonobstant tout ce que j'avais écrit à leur sujet. Avec eux, l'écartement des semelles étant de $0^m,50$, on peut faire baisser un cintre de $0^m,40$ *au*

moins, tandis que les cylindres ne peuvent donner que $0^m,16$ *au plus* et n'ont produit que $0^m,10$ au pont de l'*Alma*.

Ceux-ci, combinés avec les sacs, seraient, pour produire le tassement *initial*, préférables à la recoupe des billes, que j'employais originairement; mais ils valent moins pour achever l'opération, parce qu'ils laissent après elle, fort peu d'espace entre la voûte et le cintre, pour le démontage des *couchis*, *vaux*, etc.

De plus, l'emploi des sacs devient à peu près indispensable pour les cas où les tassements de la voûte et surtout des piles approcheraient de 10 centimètres; le *maximum* de descente des pistons étant $0^m,16$, il faut arrêter avant cette limite, si l'on veut éviter de *graves* difficultés.

Or des tassements de $0^m,10$, comprenant l'arche et les piles, *ne sont certes pas* chose rare : — on ne peut les apprécier que pendant le décintrement; — donc il sera toujours prudent de préparer des sacs de sable en réserve, alors même qu'on voudrait décintrer avec des cylindres.

Cependant, un fait curieux et important dans l'espèce, que j'ai vu au pont de l'*Alma* et signalé dans les *Annales*, m'a rallié à l'emploi des cylindres, mais pour une application spéciale et nouvelle.

Ce fait est présenté comme un inconvénient par la notice publiée pour l'Exposition, car on y lit, page 256 : « Il faut de temps en temps dégager « les orifices du sable qui s'y accumule; sans cette précaution, le petit « cône de sable qui se forme au droit de chaque orifice arrête l'écoule- « ment [1]. »

Ce petit cône de sable, qui suffit par sa pression sur l'orifice pour arrêter l'écoulement, *quelle que soit la charge*, a fortement fixé mon attention.

J'y ai vu une preuve nouvelle de cette propriété précieuse et caractéristique du sable agloméré, sa *non-élasticité*. — J'en ai conclu un procédé, que j'ai appelé *différentiel* et qui a pour la pratique une utilité comparable à celle de l'invention initiale.

Ce procédé consiste à balayer les petits cônes de sable, l'un après l'autre et dans un ordre régulier; — il fait baisser le cintre par portions successives mais *très-petites* ou par *éléments différentiels;* il permet d'opérer un décintrement, quel que soit le nombre des points d'appui, avec très-peu d'ouvriers et même *avec un seul*.

Il a été appliqué aux trois derniers ponts en maçonnerie construits à Paris; 1° *Saint-Michel*, 2° au *Change*, 3° *Louis-Philippe*. — Pour chacun des deux premiers, le nombre des points d'appui par arche était de 64; on a décintré les trois arches à la fois; il aurait fallu, par les procédés

1. Il y a dans cette phrase un *non-sens* dû peut-être à quelque erreur typographique. « Le petit cône de sable, qui se forme au droit de chaque orifice, arrête l'écoulement. » — Donc, il faut balayer ce petit cône, si l'on veut faire place à un autre et continuer l'opération, — donc le sable ne peut s'accumuler, — donc la précaution indiquée de *temps en temps* est..... sans objet.

antérieurs, 192 ouvriers, et les ingénieurs disent *n'en avoir employé que douze*, et l'opération a été faite *en deux heures*.

Je cite, *comme un fait*, cette brièveté à laquelle on attribue généralement une grande valeur. Elle en pouvait avoir alors que l'opération était chanceuse et très-compliquée par l'usage d'un grand nombre d'ouvriers: mais maintenant que, par l'emploi du sable, cette opération est devenue *infaillible*, maintenant qu'elle est réduite aux soins de quelques hommes ne gênant en rien la continuation des autres travaux, se hâter est une faute ; il vaut bien mieux procéder avec une sage lenteur, qui donne plus de temps aux matériaux pour s'asseoir et surtout aux ingénieurs pour bien vérifier s'il y a *tassement dans les piles*, cas auquel il faut immédiatement recourir *aux sacs*.

D'après ce qui précède, on doit comprendre :

Que la faculté d'*arrêt* par un petit cône de sable, *loin d'être un inconvénient*, assure l'*infaillibilité* du système en lui faisant produire, par intermittence, des affaissements *égaux* et *presque infiniment petits*[1] ;

Que la paroi mince et rigide des cylindres en tôle permettant mieux que toute autre enveloppe le percement d'orifices d'un débit *strictement égal*, j'ai dû me rallier à l'emploi de ces cylindres;

Qu'il est important de rendre ceux-ci imperméables à l'eau et même à l'humidité ; les moyens de détail que j'ai indiqués pour cet objet dans les *Annales des ponts et chaussées* sont donc très-utiles. Je dois ajouter néanmoins que, si ces soins ont été négligés, l'opération deviendra moins exacte, mais ne sera pas manquée absolument. En passant près de chaque cylindre où le sable serait mouillé, on en extraira chaque fois, avec un crochet en fer, un volume à peu près égal à celui d'un petit cône fluant.

J'ai vu, dans les journaux, qu'une médaille m'avait été décernée à l'Exposition de Londres, bien que je n'eusse, personnellement, rien exposé.

C'est donc à l'initiative du ministère des travaux publics et aussi peut-être, à la notice publiée sur un *appareil de décintrement au moyen du sable*, que je dois cette distinction.

Cette notice devait naturellement occuper peu de place dans un recueil consacré aux travaux les plus importants exécutés en France.

Mais toutes les questions relatives à l'art de l'ingénieur sont *d'utilité publique*, on peut même dire *universelle*, — celle des *décintrements*, bien que fort simple, n'en a pas moins une utilité pratique démontrée par la généralisation de l'emploi du sable.

J'ai particulièrement étudié cette question et j'ai regardé comme un devoir de compléter la notice *précitée* en rappelant les propriétés physiques du sable, qu'il eût été surtout utile de vulgariser dans une exposition

1. Je dirai, pour les esprits rigoureux, qu'on peut approcher à volonté de l'*infiniment petit*, en ne balayant qu'une *portion* du petit cône, lequel se complètera de lui-même.

universelle ; — en insistant sur l'emploi des sacs, indispensable pour certains cas, — en ajoutant à la description des cylindres, but unique de la notice en question, quelques détails sans lesquels elle demeure *tronquée ;* sur les inconvénients qu'ont montrés les cylindres et sur le *procédé différentiel*, qui en est la plus heureuse application.

Si j'avais eu l'honneur d'être consulté pour l'exposition à Londres de l'*appareil de décintrement au moyen du sable*, j'aurais demandé qu'il se composât simplement d'un cylindre en tôle, plein de sable sec portant un piston sur lequel aurait été posé un bloc de fonte, comme un mouton de sonnette. — Les orifices seraient restés ouverts ; les visiteurs auraient pu balayer un petit cône de sable, le voir se reproduire aussitôt et comprendre, plutôt que voir, comment le bloc devait descendre par mouvements *très-petits* et très-doux, sans la moindre trépidation. — Les industriels, initiés de suite aux curieuses propriétés du sable, auraient apprécié le parti que chacun pouvait en tirer, suivant sa spécialité.

Les décintrements ne sont qu'une des applications possibles : j'en ai indiqué, dans les *Annales des ponts et chaussées* et le journal *l'Ingénieur*, plusieurs autres, parmi lesquelles je rappellerai celle qui peut se présenter le plus souvent : c'est le cas où l'on aurait besoin de faire descendre une maison au niveau d'une chaussée abaissée par mesure administrative.

Cette descente peut, au moyen du sable, être opérée d'une pièce, sans la moindre trépidation et par conséquent sans aucun étai, sans déranger ni un meuble, ni un habitant.

On a fait aux *Etats-Unis* et ailleurs le transport de maisons; en *Angleterre*, celui du phare de *Sunderland* à 145m,33 de distance. — L'emploi du sable donne, avec toute la perfection désirable, la première partie de la solution qui est la translation verticale d'une base sur une autre. — La seconde, relative au transport, est assurément très-difficile ; mais on comprend que la petite descente à opérer, pour mettre l'édifice sur la base de traction, puis sur celle définitive, n'ait pas d'inconvénient grave : on y pourvoira par une pente convenable donnée au chemin de fer.

Je terminerai cet opuscule par une observation utile au point de vue économique.

On emploie maintenant à profusion les ciments énergiques qui coûtent fort cher.

Je crois que leur application à la construction des voûtes est une faute, car, avec eux, le moindre tassement se traduit en ruptures ; les ciments, devenus promptement *pierre*, ne peuvent plus se réagréger.

Il n'en est pas de même pour les mortiers calcaires qui, sous une forte compression, reprennent leur ductilité et peuvent s'introduire dans les vides que laisse la négligence des maçons, puis se souder fortement, soit entre eux, soit avec les autres matériaux.

Ce fait de la régénération de mortiers calcaires, déjà presque secs, est

bien connu. Je l'ai produit mainte fois par le battage au pilon sans la moindre addition d'eau ; j'ai vu, après des décintrements, des mortiers, qui avaient plus d'un mois de pose, et refluaient des joints à *l'état pâteux*.

Mais, dira-t-on, avec les mortiers les tassements seront plus forts qu'avec les ciments. Sans doute, et je vois là un avantage, car on laisse *à la pesanteur* le soin de perfectionner l'œuvre en corrigeant les fautes inévitables des maçons, en formant un massif plus compacte.

L'emploi du sable dans les décintrements, qui règle, par degrés très-faibles, la compression et les tassements, qui réduit ceux-ci au *minimum* possible avec les mortiers, pourra donc, indépendamment de l'économie qui lui est propre (celle des ragréements, celle des cintres qui peuvent servir à nouveau, sans la moindre retaille, etc.), en produire une autre plus importante encore, en supprimant l'emploi du ciment dans les voûtes, quand on voudra bien y renoncer.

Les bons mortiers hydrauliques acquièrent, par le temps, une dureté croissante, égale et même supérieure à celle de la pierre ; je pourrais citer une pile de pont qui s'était maintenue à la suite d'un écroulement causé par une inondation et qui portait en encorbellement le quart environ d'une arche. Que pourraient produire de plus les ciments ?

ESSAIS

DE PRODUCTION ET D'APPLICATION D'ACIERS

AU CHEMIN DE FER DU NORD,

PAR M. **NOZO**.

Les tentatives de production et d'application d'aciers, faites au chemin de fer du Nord, n'ont sans doute pas toujours eu l'étendue qu'il conviendrait pour établir des jugements définitifs; mais, telles qu'elles sont cependant, elles peuvent, je crois, servir à établir l'état actuel de la question, et à montrer les difficultés qui restent à vaincre pour amener les produits nouveaux à présenter les qualités requises pour les usages auxquels on les destine.

I. — ESSAIS DE PRODUCTION D'ACIERS.

Pour faire l'histoire complète des essais de production tentés au chemin de fer du Nord, il me paraît utile de remonter jusqu'à l'année 1850, et de dire quelques mots d'une méthode proposée à la Compagnie par M. Bertrand Geoffroy, de Dax, pour le traitement des tournures de fer, des rognures de tôle et des petits riblons. Cette méthode me semble présenter d'assez grandes analogies avec le procédé Bessemer, et c'est à cause de cela que je désire en dire quelques mots.

M. Bertrand Geoffroy se proposait de régénérer les tournures et les riblons pour en faire des fers de choix, à grains fins et aciéreux, propres à divers travaux de constructions mécaniques. Il employait un appareil en fonte ressemblant assez bien à un grand chaudron à bords élevés et à fond hémisphérique, pouvant rotuler sur un vase cylindrique rempli d'eau.

Dans la partie hémisphérique étaient percées des ouvertures renfermant des tuyères inclinées sous des angles variables à volonté et recevant

le vent d'une puissante machine soufflante. Dans la paroi verticale, à une certaine hauteur, était pratiqué un trou de laitier.

Pour faire une opération on mettait d'abord, dans le fond du vase, du charbon de bois en quantité convenable; on donnait le vent légèrement, puis on chargeait alternativement et par petites quantités à la fois, les tournures ou riblons et le charbon de bois, en réglant la quantité de vent sur la marche même de l'opération.

La quantité et la qualité du laitier qui se formait dans l'opération jouaient, dans la méthode de M. Bertrand Geoffroy, un assez grand rôle; on n'obtenait de bons produits qu'à la condition d'avoir un laitier d'une fluidité convenable et qui ne fût ni en trop grande ni en trop petite quantité; à cet effet on en ajoutait ou on en retirait selon les besoins. La nature et la quantité des étincelles étaient l'indice d'une bonne ou d'une mauvaise allure : à un moment donné on ajoutait des battitures provenant des opérations précédentes, afin d'augmenter le ramollissement de la pâte; un peu plus tard on soulevait et retournait fréquemment la loupe qui se formait, afin de lui donner le vent sur toutes ses faces; la diminution et la décoloration des étincelles indiquaient que la boule se solidifiait. Alors, après avoir enlevé le charbon, on continuait le vent pendant quelque temps; puis on inclinait l'appareil et on enlevait la boule suffisamment solide pour la porter au marteau-pilon.

L'opération durait en moyenne de 40 à 45 minutes.

Il me paraît certain aujourd'hui que si M. Bertrand Geoffroy eût ajouté une certaine quantité de fonte de qualité convenable, au moment où le fer était dans un état de demi-fusion, au lieu de fer, il eût obtenu ce qu'on appelle dans le procédé Bessemer *de l'acier*. Cela me paraît si vrai, que l'une des améliorations introduites récemment dans le procédé Bessemer paraît consister à pousser l'affinage jusqu'à produire du fer avant d'ajouter la fonte.

Les fers produits par M. Bertrand Geoffroy étaient à grain fin très-homogène et aciéreux, très-durs à forger; probablement très-propres à la fabrication des bandages, par exemple, mais trop difficiles à travailler au petit marteau de forge pour qu'ils aient pu entrer dans la consommation courante.

Les fers obtenus, soit avec des rognures de tôle, soit avec des tournures de bandages, revenaient à 17 fr. 80 c. ou 16 fr. 50 c. les 100 kilog. selon le cas.

Les déchets restaient compris entre 14 et 21 pour 100.

La consommation en charbon de bois ne s'élevait pas au delà de 0,50 par kilogramme de fer produit.

Quoi qu'il en soit, le procédé très-ingénieux de M. Bertrand Geoffroy n'est malheureusement pas allé au delà d'une expérience métallurgique des plus intéressantes.

Après les expériences de M. Bertrand Geoffroy sont venues, dans l'or-

dre chronologique, en février et mars 1855, celles de M. Lenz, ingénieur, représentant M. Uchatius, capitaine d'artillerie autrichien [1].

Le procédé Uchatius repose sur une idée fort ancienne et consiste à décarburer la fonte en y mélangeant des oxydes métalliques.

Les fontes employées par M. Lenz provenaient d'Alélik, près de Bône, en Algérie; quant aux oxydes entrant dans le mélange, ils sont restés le secret de M. Uchatius.

Voici d'ailleurs comment opérait M. Lenz. Il granulait d'abord la fonte, qu'il plaçait ensuite dans un creuset en plombagine avec une proportion convenable d'oxyde en poudre et en rapport avec la qualité d'acier qu'on lui demandait.

La fusion obtenue dans nos fourneaux à fondre le bronze, durait environ une heure trois quarts; on consommait en moyenne $2^k,30$ de coke pour produire 1 kilogramme d'acier en lingot.

L'acier ainsi obtenu, auquel nous conserverons le nom de son inventeur, était coulé dans des lingotières en fonte convenablement chauffées; les lingots étaient ensuite ébarbés à la meule, puis étirés au marteau-pilon. On réchauffait les barres, soit au feu de forge ordinaire, soit au four à réverbère.

Des essais de résistance, des essais d'étirage, des essais de soudage de l'acier Uchatius, sur fer ou sur lui-même; enfin des essais d'application à la construction d'outils divers, ont été faits, avec beaucoup de soin, sur les produits obtenus par M. Lenz.

L'*étirage* des aciers Uchatius a paru plus difficile et plus délicat que celui des aciers cémentés fondus.

Le *soudage* de l'acier sur lui-même a été complétement impossible, ainsi qu'il était facile de le prévoir, et cela malgré toutes les précautions prises. Le soudage de l'acier sur le fer était plus apparent que réel [2].

Les *outils* construits ont généralement donné de mauvais résultats; l'acier manquait de corps, surtout lorsqu'on le faisait agir par percussion; il a cependant donné des crochets de tours passablement bons.

Comparé, sous le rapport de la résistance à la rupture, avec des aciers puddlés fondus que livraient à l'époque MM. Petin et Gaudet, il a donné des résultats sensiblement les mêmes. Les conclusions des expériences ont été : qu'il y avait sans doute dans le procédé *Uchatius* un moyen facile et économique de produire une espèce particulière d'acier; que l'emploi de cet acier, pour la construction des outils, ne paraissait guère

1. Une commission composée de trois inspecteurs généraux des mines a été nommée par M. le Ministre des travaux publics afin de constater les résultats obtenus, et permettre de décider s'il y avait lieu de donner suite à l'offre faite par M. Uchatius, de vendre son procédé au gouvernement français.

2. Dans les essais de soudage on avait toujours le soin de saupoudrer les parties chauffées avec une poudre dont M. Lenz nous avait donné la recette.

possible; qu'il était peu probable qu'il pût servir à la fabrication des ressorts et à celle des pièces mécaniques; mais qu'il pourrait sans doute convenir pour rails, bandages et produits analogues [1].

Depuis 1855 aucune usine, que nous sachions, ne s'est encore montée pour exploiter en grand le procédé Uchatius.

Après les essais de M. Uchatius, viennent ceux qu'est venu faire, en décembre 1858, M. Sudre, ancien maître de forges.

Le procédé expérimenté par M. Sudre avait pour but de produire la *fusion des aciers* (en riblons ou autres), dans des fours à réverbère, à peu près de la forme usuelle, mais construits avec plus de soin et avec des matériaux réfractaires du plus grand choix.

Selon M. Sudre, il y a longtemps qu'on a tenté de fondre l'acier dans des fours à reverbère; mais toutes les tentatives ont constamment échoué en amenant la destruction très-rapide des fours.

Cette destruction provient de la formation, au contact des flammes, d'oxyde de fer, qui, s'unissant à la silice des briques, produit des silicates très-fusibles, entraînant la destruction immédiate des matériaux du four.

Pour obvier à ces inconvénients, M. Sudre a eu l'idée d'employer comme laitier préservatif, à la fois du four et de l'acier, du verre à bouteilles ou des scories de hauts fourneaux au bois. Ce laitier vitreux possède à un haut degré la propriété de préserver l'acier en fusion du contact des corps étrangers nuisibles à sa qualité, et surtout de ménager, *plus qu'aucun autre*, les briques des fours.

Soit que le four mis à la disposition de M. Sudre fût composé de briques trop peu réfractaires, et sans doute aussi de trop petites dimensions, en multipliant trop les joints; soit que les essais n'aient pas été poursuivis avec assez de persistance, toujours est-il que les résultats ne répondirent pas aux espérances de M. Sudre lui-même.

Toutefois il a paru ressortir des essais faits dans les ateliers de La Chapelle, qu'on pouvait espérer une solution du problème. Aussi de nouveaux essais, sous le haut patronage de S. M. l'Empereur, ont-ils été faits, de novembre 1860 à janvier 1861, à l'usine de Montataire, ainsi que le constate un rapport sommaire, inséré aux *Annales des mines*, 6e série, tome Ier, 2e livraison, 1862.

Les conclusions du rapport au ministre montrent que la principale difficulté, la conservation du four, n'était pas encore vaincue, mais qu'on était cependant parvenu à fondre jusqu'à 2,000 kilogrammes d'acier dans un même four, dans des conditions assez économiques.

Citons encore, pour terminer l'histoire des essais de production d'aciers, divers essais de cémentation, d'après les procédés de M. Frémy.

1. Les conclusions de la commission ministérielle (*Annales des Mines*, 5e série, t. VIII) sont plus favorables à l'acier Uchatius que celles que nous retrouvons dans notre procès-verbal dressé à la suite des essais que nous venons de résumer.

Nos essais pouvaient atteindre un double but : d'abord la cémentation rapide des pièces mécaniques sans altérer les propriétés qu'on recherche dans l'emploi du fer forgé; ensuite la production éventuelle et à bon marché des aciers fondus de choix pour outils.

Nos tentatives faites, dans les conditions indiquées par M. Frémy, n'ont malheureusement produit, jusqu'à présent, aucun résultat.

La cémentation des pièces mécaniques s'est donc continuée, comme par le passé, dans des fours à calotte mobile, avec emploi de caisses en tôle et cément ordinaire.

Toutefois il y a lieu d'ajouter que de nouveaux essais, faits dans de meilleures conditions, paraissent devoir donner plus de satisfaction.

II. — ESSAIS D'APPLICATION.

Après avoir rappelé les essais faits aux ateliers de La Chapelle pour la production d'aciers, parlons des essais d'application des aciers divers qui se sont produits dans ces dernières années.

Nous passerons en revue les applications suivantes : rails-aiguilles et contre-aiguilles, pointes de croisement, plaques tournantes, bandages de roues, essieux coudés et droits, ressorts, pièces mécaniques, outils.

Je donnerai aux aciers les noms qui les définissent le mieux à mon avis. Je distinguerai : les aciers naturels, les aciers cémentés, les aciers cémentés fondus, les aciers puddlés, les aciers puddlés fondus, les aciers Chenot, Bessemer, Krupp, etc.

Je supposerai toutes les méthodes de fabrication connues, pour ne m'occuper absolument que des résultats obtenus dans les diverses applications faites.

On comprendra très-bien que je ne puisse pas rappeler tous les détails des expériences, cela me conduirait inutilement trop loin; je me bornerai simplement à résumer en quelques mots les résultats obtenus dans chaque cas, et seulement lorsque ces résultats auront été assez concluants pour pouvoir être formulés.

Je crois nécessaire d'ajouter encore, avant d'entrer dans l'appréciation des produits essayés, *que je n'ai nulle intention de les juger irrévocablement.* Chacun sait que, malgré tous les soins et toute l'impartialité qu'on peut apporter dans le récolement des faits, il est souvent très-difficile d'affirmer, surtout en fait de mise en œuvre d'aciers, qu'ils auront toujours été traités avec tous les soins que la matière exige.

Aciers pour outils. La Compagnie emploie annuellement de 4 à 5,000 kilogrammes d'aciers pour l'entretien de son outillage.

La majeure partie de ces aciers, soit 90 p. 100 environ, sont des aciers anglais, livrés par la maison Huntsmann de Sheffield; le reste, c'est-à-dire 10 p. 100, sont des aciers français.

Voici, d'après l'ensemble des essais et sous le bénéfice des réserves posées plus haut, l'appréciation que nous avons cru pouvoir faire des aciers à outils livrés à la Compagnie, soit à titre d'échantillons, soit comme fournitures courantes.

Aciers Chenot. Les aciers Chenot, essayés en 1856, ont été considérés comme manquant de corps, et résistant mal surtout dans les outils agissant par percussion.

Aciers puddlés fondus. Les aciers puddlés fondus, livrés en 1858 par MM. Petin et Gaudet, ont donné des résultats très-médiocres.

Aciers Bessemer. Les aciers Bessemer, livrés par M. James Jackson en 1858, ont donné de mauvais résultats. Ceux livrés assez récemment, en 1862, n'ont donné que des résultats peu supérieurs aux premiers.

Aciers tungstène. Les aciers au tungstène de M. Dubreuil, essayés en 1861, ont donné des résultats assez bons pour outils de tours et outils analogues, et de mauvais résultats pour burins et outils semblables.

Aciers fondus Holzer. Les aciers de cémentation fondus Holzer, employés à la confection des marteaux, donnent de bons résultats.

Aciers de cémentation fondus. 1° Les aciers livrés par MM. Petin et Gaudet ont toujours laissé à désirer; 2° Les aciers anglais John Bedford et Muschett, essayés en 1857, ont été considérés comme assez bons dans la plupart des emplois; 3° Les aciers à double dureté pour tarauds et alésoirs, de M. Cammels, de Sheffield, essayés en 1861, n'ont pas donné les résultats qu'on en espérait.

Ajoutons, pour terminer ce que nous avions à dire sur les aciers à outils, que les fournitures de M. Huntsmann ne nous ont pas non plus toujours donné complète satisfaction : il s'est quelquefois rencontré des fournitures qui ont laissé à désirer.

En résumé : les aciers nouveaux, envisagés au point de vue de l'outillage, sont restés jusqu'à présent notablement inférieurs aux aciers fondus provenant de la cémentation des fers de Suède.

Le côté séduisant des nouveaux produits, le bon marché, ne peut avoir, du reste, qu'une très-faible importance dans la question. Dans les outils, en effet, la dépense en main-d'œuvre est généralement de *six* à *dix* fois plus grande que la dépense en matière; par conséquent le prix élémentaire de l'acier peut varier notablement sans modifier sensiblement le prix des outils. Il y aura donc toujours un grand intérêt à rechercher les meilleures qualités sans trop s'inquiéter du prix.

III. — ACIERS POUR RESSORTS.

La question des aciers à ressorts est l'une des plus délicates. Un ressort en bon acier, bien établi, devrait avoir une durée presque indéfinie; un ressort en mauvais acier, quoique bien établi, n'aura toujours qu'une durée

fort limitée. Ou bien la flèche s'altérera par défaut d'élasticité, et les conditions de suspension du véhicule seront fâcheusement modifiées; ou bien les feuilles casseront par défaut d'homogénéité, et le véhicule devra être immédiatement retiré des trains si l'avarie n'entraîne pas de plus graves conséquences.

La qualité de la matière est cependant chose au moins aussi variable dans les aciers à ressorts que dans les aciers à outils; on comprend dès lors combien il faut prendre de précautions pour leur réception. La première de ces précautions me paraît être la rédaction d'une spécification contenant toutes les épreuves que les aciers devront subir pour être admis. Les essais devront porter à la fois sur des feuilles séparées et sur des ressorts assemblés : ils devront permettre d'apprécier à la fois l'élasticité et la résistance aux chocs. Ils seront répétés fréquemment dans le cours des fournitures, et seront faits sur les barres avant et après la mise en œuvre. Afin d'éviter les contestations, les essais se feront autant que possible en présence du fournisseur ou de son représentant.

Je donne à la fin de cette note la spécification imposée aux fournisseurs de la Compagnie du Nord, avec Barême à l'appui (pag. 549 à 552).

Je donne également aux annexes, pour compléter la question des essais (pages 554 à 556), un exemple de réception, en avril 1862, d'acier puddlé fondu d'assez bonne qualité.

Pendant la période 1860-1862, il a été fait 65 essais d'aciers à ressorts, qui ont donné les résultats suivants :

Aciers reconnus bons.	14
— — assez bons.	24
— — médiocres.	14
— — mauvais.	13
Total.	65

C'est donc une proportion de refus d'environ un cinquième.

Or comme la très-grande majorité des aciers essayés étaient des aciers puddlés fondus, on déduit du tableau de classification ci-dessus, que ces aciers laissent encore énormément à désirer sous le rapport de la régularité; toutefois après avoir été très-irréguliers aux débuts, ils paraissent cependant s'être améliorés dans les dernières fournitures.

Les aciers de cémentation corroyés ont donné d'assez bons résultats. Ils ont présenté plus d'homogénéité que les aciers puddlés fondus, mais ils ont quelquefois laissé à désirer sous le rapport du parfait soudage des mises et sous celui de l'élasticité.

Quelques échantillons d'aciers anglais puddlés fondus ou cémentés fondus, n'ont pas montré plus de régularité que les aciers français.

Des aciers Bessemer, fabriqués en France, ont donné récemment les mêmes résultats que les aciers puddlés fondus. Ces aciers sont d'ailleurs

d'une production commerciale encore trop récente pour qu'il soit permis de leur assigner leur place et leur valeur relative.

Un acier que je n'ai pas nommé parce qu'il s'est trouvé pour ainsi dire détrôné par les aciers nouveaux, à bon marché, est celui auquel nous avons pendant longtemps appliqué exclusivement le nom d'acier fondu. Je veux parler de l'acier obtenu par la fusion des aciers de cémentation.

A priori, il semble que cet acier doive présenter plus qu'aucun autre toutes les conditions imposées, surtout en fondant et coulant de grandes masses à la fois; mais son prix élevé le rend aujourd'hui inadmissible pour la construction des ressorts.

La conclusion de tous ces faits, c'est que trois espèces d'aciers, l'acier puddlé fondu, l'acier de cémentation corroyé, l'acier Bessemer, paraissent pouvoir entrer, en concurrence sérieuse, dans la construction des ressorts.

IV. — PIÈCES DE MÉCANISME.

Boulons d'articulation de bielles. Les boulons d'articulation des grosses têtes de bielles des premières Crampton livrées en 1849, étaient en acier cémenté fondu, légèrement trempé. Ces boulons, qui avaient 80 millimètres de diamètre, se sont fréquemment divisés, en service, par des plans parallèles à l'axe. Ils ont été remplacés par des boulons en fer cémenté et trempé, qui ont parfaitement réussi. Depuis, tous les boulons de ce genre ont été faits en fer cémenté et trempé.

Tiges de pistons. En 1851 on a essayé l'emploi des tiges de pistons en acier fondu puddlé. Plus de 300 de ces tiges ont été appliquées à des locomotives de différents systèmes; mais d'assez nombreuses ruptures, aux clavetages, les ont fait abandonner et remplacer par des tiges en fer de choix, *non cémentées ni trempées.*

Glissières. Plus de 500 glissières de têtes de pistons en acier puddlé fondu ou de cémentation fondu, entrent dans le matériel de la Compagnie, elles y font un bon service; mais rien ne prouve jusqu'à présent qu'il y ait là un avantage sérieux sur l'emploi du fer cémenté et trempé. L'acier fondu ne se prête pas d'ailleurs, comme le fer, à toutes les exigences de formes que les divers systèmes de locomotives imposent quelquefois au constructeur.

Boutons d'accouplement. 24 boutons de manivelles d'accouplement, en acier Krupp, ont été appliqués à six locomotives mixtes Engerth. Quatre d'entre eux se sont rompus après un parcours moyen de 253,000 kilomètres, ne différant pas sensiblement des parcours obtenus avec les boutons en fer cémenté et trempé.

Aujourd'hui nous fabriquons les boutons d'accouplement avec les

parties non altérées d'essieux, qui, à l'essai au mouton, ont donné des résultats exceptionnels; ils sont cémentés et trempés.

Essieux coudés. L'application de 19 essieux coudés en acier fournit les résultats suivants :

6 essieux coudés en acier Krupp, placés sous les locomotives mixtes Engerth de 22 tonnes d'adhérence, donnent une première rupture après un parcours de 270,000 kilomètres.

Les cinq essieux restant en service ont fourni, *quant à présent*, un parcours moyen de 230,000 kilomètres.

6 essieux coudés, également en acier Krupp, placés sous les machines à marchandises de puissance moyenne de 33 tonnes d'adhérence, ont donné: 1° une première rupture après un parcours de 41,000 kilomètres; 2° un commencement de rupture, sur un deuxième essieu, après un parcours de 42,000 kil. Ce deuxième essieu continue le service après l'application des frettes de consolidation.

Les cinq essieux restant en service, tous frettés après les accidents que nous venons de rapporter, ont fourni, *jusqu'aujourd'hui*, un parcours moyen de 102,000 kilomètres.

Un essieu coudé, en acier puddlé fondu Petin et Gaudet, a été mis en service, fretté de construction, sous les mêmes moyennes machines à marchandises; il a fourni jusqu'à présent un parcours de 80,000 kilomètres.

6 essieux en acier naturel d'Allevard, forgés par MM. Russery-Lacombe, ont été mis en service non frettés, sous les locomotives mixtes Engerth; ils ont fourni jusqu'aujourd'hui un parcours moyen de 90,000 kilomètres, trois essieux ont été frettés en 1861..

D'un autre côté, douze essieux coudés, en fer forgé, construits au Creusot, en 1848, et placés sous des machines à marchandises, fournissent sans frettage les chiffres suivants :

Deux ont été mis au rebut, pour cause de rupture, après un parcours de...	244 373 kil.
Huit, continuant le service, ont effectué un parcours moyen de...........	288 770
Sur ces huit, un essieu a atteint le parcours de........................	363 000
Deux de rechange ont atteint un parcours moyen de..................	55 000

36 essieux coudés *en fer*, commandés à l'usine de Bowling, en Angleterre, sont garantis pour un parcours de 150,000 kilomètres.

Enfin les essieux coudés en fer forgé, qui ont été retirés du service pour cause de rupture depuis l'origine de l'exploitation, ont fourni un parcours moyen de 108,000 kilomètres, avec limites extrêmes de 41,000 et 190,000.

On voit, d'après tous ces chiffres, que les avantages de l'acier sur le fer, pour essieux coudés, tout en étant probables, sont cependant loin encore d'être parfaitement établis.

Essieux droits. L'application de l'acier à la construction des essieux de wagons donne lieu aux observations suivantes :

10 essieux en acier Krupp, au prix moyen de 425 francs l'un, brut de forge, ont été mis en service en 1856, et ont fourni jusqu'à présent un parcours moyen de 59,240 kilomètres.

468 essieux en acier puddlé Petin et Gaudet, au prix de 336 francs l'un, brut de forge, ont été fournis en 1857. Sur ce nombre 120 ont dû être refusés aux essais de réception comme ne satisfaisant pas aux conditions de la spécification, donnée aux annexes, pages 557 à 559. Depuis la mise en service des essieux reçus, *trois* ont dû être mis au rebut; un pour fusées rompues après un parcours moyen de 10,639 kilomètres, deux forcés en service après un parcours moyen de 15,600 kilomètres.

Depuis ces fournitures d'essieux en acier, la Compagnie a commandé 6,000 essieux en fer forgé, au prix moyen brut de forge de 125 fr. l'un, de 1857 à 1861, et au prix de 90 fr. 50 l'un, de 1861 jusqu'aujourd'hui.

Je place ici un tableau donnant pour chaque catégorie de commandes les cinq meilleurs résultats obtenus dans les essais de réception.

TABLEAU comparatif des cinq meilleurs résultats obtenus dans les essais d'essieux de voitures et wagons.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMBRE DE CHUTES DU MOUTON de 500 kil.		NOMBRE		NOMBRE DE KILOGRAMMÈTRES		OBSERVATIONS.
	pour produire le 1er pli.	pour produire la rupture.	de plis.	de redressements.	pour produire le 1er pli.	pour produire la rupture.	
1° Essieux en acier puddlé fondu de MM. J. Petin, Gaudet et Cie (à 336f l'un, brut de forge).							
1	7	58	3	2	12.600	104.400	Diamètre au corps.... 0m,120, pli de 0m,15
2	5	48	3	3	9.000	80.400	— ... 0 ,110, pli de 0 ,20
3	6	32	2	2	10.200	59.400	— ... 0 ,110, pli de 0 ,25
4	7	28	2	1	11.425	49.400	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
5	7	18	1	1	12.600	32.400	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
			Moyennes............		11.165	86.400	
2° Essieux en fer de J. Petin, Gaudet et Cie (à 125f l'un, brut de forge).							
1	9	102	6	6	16.200	183.600	Diamètre au corps.... 0m,120, pli de 0m,25
2	6	83	4	4	10.400	149.000	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
3	5	80	8	8	8.600	144.000	— ... 0 ,110, pli de 0 ,25
4	7	73	4	4	10.800	129.600	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
5	8	67	4	3	13 000	106.200	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
			Moyennes............		11.800	142.580	
3° Essieux en fer de l'usine de l'Heure à Zone (Belgique) (à 90f50 l'un, brut de forge).							
1	7	57	3	3	11.800	102.600	Diamètre au corps.... 0m,120, pli de 0m,25
2	7	54	3	3	11.800	97.200	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
3	6	49	3	2	10.800	88.200	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
4	7	48	3	3	12.600	86.400	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
5	6	48	3	3	10.800	86.400	— ... 0 ,120, pli de 0 ,25
			Moyennes............		11.540	92.160	

La valeur en francs d'un essieu de chaque catégorie, divisé par le nombre moyen de kilogrammètres amenant la rupture, donne le prix de 1 kilogrammètre de résistance absolue, et permet d'établir les chiffres comparatifs ci-dessous.

$$\text{Essieux en acier puddlé fondu } \frac{336^f}{86^f400} = 0^f00390$$

$$\text{— en fer Petin, Gaudet } \frac{125^f}{142^f580} = 0^f00087$$

$$\text{— en fer de l'Heure } \frac{90^f50}{92^f160} = 0^f00098$$

Ainsi 1,000 kilogrammètres de résistance coûteraient avec l'emploi de l'acier fondu, 3 fr. 90; tandis qu'ils ne coûtent que 0 fr. 92 en moyenne avec l'emploi du fer.

On déduit de ce tableau et des faits relatés : *que la préférence à donner à l'acier puddlé fondu sur le fer paraît encore moins bien établie pour les essieux droits de voitures et wagons que pour les essieux coudés de locomotives.*

Cette conclusion acquiert encore plus de valeur si l'on tient compte des écarts entre les résistances extrêmes et la résistance moyenne.

Bandages de roues. L'application de l'acier à la construction des bandages de roues paraît jusqu'à présent avoir été la plus heureuse de ce produit aux pièces mécaniques des chemins de fer.

La Compagnie a déjà commandé près de 200,000 kilogrammes de bandages en aciers divers pour locomotives.

La statistique fournit les résultats comparatifs suivants entre les parcours moyens au moment de la mise au rebut des bandages en acier de $0^m,055$ d'épaisseur, et les parcours moyens *les plus élevés* des bandages en fer d'égale épaisseur.

Pour donner aux chiffres toute leur signification, je ne comparerai que des relevés faits sur les garnitures de bandages appliquées aux locomotives à marchandises à 3 essieux couplés de même système, avec répartition de charge de 6 tonnes 1/2 sous les roues.

PARCOURS JUSQU'AU RETRAIT DES GARNITURES MISES EN SERVICE EN 1857.

1	garniture	acier puddlé fondu Petin, Gaudet à.	2 fr.	00	le kilog.	105302 km
1	—	acier naturel d'Allevard à........	1	15	—	39226
1	—	produit mixte Verdié à..........	1	20	—	36227
3	—	en fer aciéreux Diétrich à........	1	00	—	58959
13	—	en fer Petin et Gaudet à.........	0	84	—	52143

PARCOURS JUSQU'AU RETRAIT DES GARNITURES MISES EN SERVICE EN 1858.

2	garnitures	acier puddlé fondu Petin, Gaudet à.	2 fr.	00	le kilog.	80722 km
2	—	acier naturel d'Allevard à........	1	10	—	55076
2	—	produit mixte Verdié à..........	1	20	—	46881
5	—	en fer Petin, Gaudet à...........	0	79	—	66786
9	—	en fer aciéreux Diétrich à........	0	92	—	55776

PARCOURS JUSQU'AU RETRAIT DES GARNITURES MISES EN SERVICE EN 1859.

1	garniture en acier Krupp[1] à.............	3 fr.	07	le kilog.	115000 km
4	—	acier puddlé fondu Petin et Gaudet à.	2	40	—	45286
3	—	acier naturel d'Allevard à........	1	06	—	76895
3	—	produit mixte Verdié à..........	1	16	—	22525
6	—	fer aciéreux Diétrich à...........	0	74	—	54821
14	—	fer Petin et Gaudet à...........	0	66	—	43169

PARCOURS JUSQU'AU RETRAIT DES GARNITURES MISES EN SERVICE EN 1860.

Parmi les garnitures mises en service en 1860, on peut extraire les chiffres suivants :

3	garnitures	acier Krupp[2] à...............	2 fr.	88	le kilog.	120000 km
3	—	acier naturel d'Allevard[2] à......	1	06	—	80000
1	—	produit mixte Verdié et Cie à....	1	16	—	34865
11	—	en fer aciéreux Diétrich à.......	0	74	—	47412
4	—	en fer Petin et Gaudet à........	0	66	—	41062

En rassemblant les résultats des quatre années 1857-1860, en appliquant les prix de 1862, on forme le tableau suivant :

4	garnitures	acier Krupp à................	2 fr.	20	le kilog.	118750 km
9	—	acier d'Allevard à.............	1	06	—	68896
11	—	acier puddlé fondu Petin et Gaudet à.	1	70	—	63984
7	—	produit mixte Verdié et Cie à....	1	16	—	33203
29	—	fer aciéreux Diétrich à.........	0	74	—	52735
36	—	fer Petin et Gaudet à..........	0	66	—	49455

De ces chiffres on peut tirer cette conclusion, que les avantages que présente l'acier sur le fer ne sont pas aussi considérables qu'on avait pu l'attendre. Ces avantages s'amoindriraient encore si on faisait intervenir les prix relatifs du fer et de l'acier.

Si donc on persiste à employer l'acier, pour *certaines catégories de machines*, c'est surtout afin de diminuer les embarras de service que causent toujours les changements de roue.

Il ne me reste plus, pour terminer ma revue, qu'à dire quelques mots des essais d'application des aciers nouveaux à la construction des voies.

1. Cette garniture continue le service avec un parcours acquis, au 31 décembre, de 99000 kilomètres en chiffres ronds : elle est d'ailleurs garantie par un parcours de 100000 kilomètres.

2. Les garnitures Krupp et Allevard, posées en 1860, continuent le service; leurs parcours ne sont qu'approximatifs. Les bandages Krupp sont d'ailleurs garantis pour un parcours de 100000 kilomètres. En 1862 la garantie de parcours a été élevée à 200000 kilom.

Pièces moulées. On a pensé que, pour certains travaux, des pièces *moulées* en acier puddlé fondu, sans aucun travail de martelage, offriraient une plus grande résistance que la fonte. On a dès lors fait fondre, pour être soumises à des essais comparatifs de résistances à la rupture, *huit* poutres d'expérimentation, de section identique, que nous pouvons d'abord classer comme suit :

1° *A MM. Petin, Gaudet et Cie.*

2 Poutres en fonte,
2 Poutres en acier puddlé fondu.

2° *A MM. Jacob Holtzer et Cie.*

2 Poutres en fonte,
2 Poutres en acier de cémentation fondu.

Ces poutres ont été successivement attachées très-solidement, par leurs extrémités, au bâti d'une presse hydraulique, et l'on a fait agir le piston sur leur milieu jusqu'à rupture, en mesurant avec soin, au moyen d'un manomètre, les charges supportées au moment de la déformation permanente et au moment de la rupture.

Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus.

DÉSIGNATION.	CHARGES PRODUISANT la déformation permanente.	CHARGES PRODUISANT la rupture.	OBSERVATIONS.
1° Poutres de MM. Petin, Gaudet et Cie [1].			
Moyenne des deux poutres en fonte............	4500k	11600k	Les cassures ne présentaient aucune soufflure.
Moyenne des deux poutres en acier puddlé fondu..	8500k	12900k	Des soufflures nombreuses et étendues occupent environ le 1/6e de la section.
2° Poutres de MM. Jacob Holtzer et Cie.			
Moyenne des deux poutres en fonte............	4500k	10800k	Les cassures ne présentaient aucune soufflure.
Moyenne des deux poutres en acier............	9500k	20000k	Des soufflures nombreuses, mais moins étendues que dans les poutres de MM. Petin et Gaudet, occupent environ le 1/7e de la section.

1. MM. Petin et Gaudet, ne disposant pas de châssis convenables, ont moulé les poutres en sable d'usine.

Il y a dans ces chiffres sans doute des éléments de succès, et il faut

espérer que lorsqu'on parviendra d'une manière courante à couler l'acier sans soufflures, comme le fait déjà M. Krupp, on obtiendra des résultats très-satisfaisants. Aussi la Compagnie des Ardennes s'est-elle décidée à commander, à titre d'essai, à MM. Petin et Gaudet, sur des dispositions nouvelles dues à M. Poulet, inspecteur du matériel des voies au chemin de fer du Nord, deux plaques tournantes de $4^m,50$ de diamètre.

Des expériences faites d'ailleurs par MM. Petin et Gaudet dans leurs ateliers, sur l'application, par moulage direct, de l'acier puddlé fondu à la construction des gros engrenages et des manchons de laminoirs, permettent d'espérer de bons résultats.

Pattes de lièvre de changements de voies. La Compagnie du Nord a commandé également :

1° *En Angleterre,* à M. John Brown, de Sheffield, 60 tonnes environ de rails en acier Bessemer ; et à M. Cammels une vingtaine de tonnes en acier puddlé fondu.

2° *En France,* à MM. Petin et Gaudet, en acier puddlé fondu, 400 ton. de rails et 30 pointes de croisement de voies.

En France, les lingots pour rails sont d'abord martelés avant d'être passés au laminoir.

Les rails commandés sont destinés à former les pattes de lièvre des croisements de voies. Ceux déjà utilisés paraissent donner de bons résultats.

Pointes de croisement. Pour les pointes il y a lieu de croire que les résultats seront très-satisfaisants. Les lingots dont on les obtient, et qui fournissent chacun quatre pointes, sont martelés au pilon comme s'il s'agissait de massiaux en fer forgé, et c'est dans des étampes *ad hoc* qu'on donne aux pointes des dimensions définitives à peu près identiques à celles des pointes en fer forgé.

Les pointes en acier puddlé fondu, mises en œuvre de rabotage dans les ateliers, montrent beaucoup d'homogénéité. Celles déjà posées, depuis près de deux ans, permettent d'en attendre un très-bon service. Les pointes ont été légèrement trempées et recuites après rabotage[1].

Les rails Petin et Gaudet, en acier puddlé fondu, ont été payés, jusqu'à présent, rendus à la Chapelle. . . . . 80 fr. la tonne.

Les rails John Brown, en acier Bessemer, sont payés, rendus à la Chapelle. . . . . 75 fr. —

Les pointes en acier puddlé fondu sont payés. . . . . 1,50 le kilog.

Les plaques tournantes de $4^m,50$ seront fournies au prix de l'une 4,000 francs, chiffre inférieur au prix des plaques en tôle.

1. D'après les indications fournies par M. Borsig, de Berlin, il est très-probable qu'il conviendra de les tremper avant de les terminer de forge, afin de déceler avant l'emploi les défauts qu'on ne découvrirait pas sans cela.

CONCLUSION.

Aucun des aciers nouveaux, Chenot, Uchatius, Bessemer, puddlé fondu, fondu au tungstène, n'a pu donner couramment, pour la construction des outils, des résultats comparables à ceux obtenus avec les aciers fondus Huntsmann, qu'emploie généralement la Compagnie.

Les aciers nouveaux, appliqués à la fabrication des ressorts, ont généralement montré, jusqu'à présent du moins, très-peu de régularité dans les résultats. Sous ce rapport ils nous ont paru même inférieurs à certains aciers de cémentation corroyés. Toutefois il est probable que de nouveaux progrès introduits dans la fabrication *amèneront* les aciers puddlés fondus et les aciers Bessemer en possession définitive du marché.

Si importants qu'aient été déjà les essais d'application de l'acier aux pièces de mécanisme, dans les machines locomotives, il n'est guère ressorti d'avantage un peu sérieux, et encore sous bénéfice de certaines conditions spéciales, qu'au point de vue de bandages de roues. Les applications aux boutons de bielles, boutons d'accouplement, tiges et glissières de pistons, essieux coudés ou droits, n'ont donné que des résultats médiocres, souvent même mauvais.

L'application aux appareils de la voie, au contraire, paraît devoir assurer de grands avantages.

ANNEXE N° 1.

SPÉCIFICATION GÉNÉRALE

Pour la fourniture des Aciers à ressorts.

ARTICLE PREMIER.

But de la spécification. La présente spécification a pour objet de compléter les clauses particulières des traités.

Elle est obligatoire comme les traités eux-mêmes.

ARTICLE SECOND.

Dimensions. Les dimensions et le poids des aciers, par mètre courant, seront en tout point conformes aux indications de la commande.

ARTICLE TROISIÈME.

Provenance des matières. Mode de fabrication. La provenance et la qualité des matières premières, ainsi que le mode de fabrication, devront toujours être agréés par l'Ingénieur chef du matériel, avant qu'il puisse être donné suite aux commandes.

ARTICLE QUATRIÈME.

Surveillance de la fabrication. Pendant l'exécution des commandes, la Compagnie pourra faire procéder à toutes les épreuves qui lui paraîtront nécessaires, pour s'assurer de la qualité des produits; ces épreuves seront à la charge du fournisseur.

ARTICLE CINQUIÈME.

Marque de fabrique. La marque de fabrique du fournisseur sera visiblement poinçonnée à chaud, à l'une des extrémités de chaque barre.

ARTICLE SIXIÈME.

Épreuve de réception. A la livraison dans ses magasins et avant la réception des fournitures, la Compagnie pourra faire, par livraison de *cent*

barres au plus, et sur les trois barres du plus vilain aspect, une série de trois essais *à la flexion*, et une de neuf *au choc*.

Les morceaux d'essai, à prendre dans chacune des trois barres, devront toujours être découpés à la suite les uns des autres, afin de permettre de mieux apprécier comment la résistance au choc se concilie avec la résistance à la flexion et avec l'élasticité.

1° *Épreuve à la flexion*. Chaque morceau d'essai, coupé à la longueur de $1^m,00$, cintré de $0^m,100$, trempé et recuit suivant les meilleures conditions déterminées et acceptées par le fournisseur, sera soumis à un effort de flexion correspondant à une tension de 100 kilogrammes par millimètre carré sur la fibre extrême.

Dans cette première flexion, la feuille ne doit ni rompre, ni prendre une flèche permanente *trop considérable*. Chargée de nouveau de la même quantité et déchargée ensuite, la feuille ne doit plus subir de nouvelle perte de flèche.

Les efforts de flexion seront ensuite augmentés progressivement jusqu'à la rupture de chaque feuille. Cette rupture ne doit avoir lieu que sous un effort au moins double de la charge d'épreuve correspondant à une tension de 200 kilogrammes par millimètre carré sur la fibre extrême, en supposant qu'on applique jusqu'à rupture les formules de résistance des matériaux.

Le coefficient, dit d'*élasticité*, déterminé d'après les indications du Barême spécial, doit être de 20,000,000,000 au plus, ce qui revient à dire que l'allongement sous une tension de 100 kilogrammes par millimètre carré de la fibre extrême sera de 0,005 au moins.

2° *Épreuve au choc*. Sur les trois morceaux coupés dans chaque barre à la longueur d'environ $0^m,20$, deux seront trempés et recuits de la manière ci-dessus indiquée, pour la feuille destinée à l'essai de flexion ; chacun de ces trois morceaux, posé sur deux appuis distants de $0^m,100$, sera soumis au choc d'un mouton tombant d'une hauteur de $1^m,500$, et présentant un poids de 1 kilogramme par chaque 30 millimètres carrés de section de la feuille.

Le nombre de coups supportés sans rompre et sans présenter aucune crique ou indice de rupture sera d'au moins *trois* pour chacun des morceaux trempés, et *aussi constant que possible* pour les morceaux non trempés provenant d'une même livraison.

Dans le cas où les feuilles essayées ne rempliraient pas les conditions spécifiées ci-dessus, le lot d'acier pourra être refusé.

Les frais des essais de réception seront toujours réglés par le marché.

ARTICLE SEPTIÈME ET DERNIER.

Malgré la réception faite en suite des essais ci-dessus, la Compagnie conserve le droit de refuser toutes les barres qui présenteraient des défauts de fabrication reconnus au moment de la mise en œuvre.

ANNEXE N° 2.

BARÊME

Servant à calculer l'élasticité des Aciers à ressorts et leur résistance tant au choc qu'à la flexion.

I. — ESSAI A LA FLEXION.

DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE L'ÉLASTICITÉ.

1re *Manière.* Pour obtenir le coefficient dit d'*élasticité*, on prendra la moyenne des flèches par 100 kilogrammes, mesurées depuis 50, 100 ou 200 kilogrammes, selon les dimensions des feuilles, jusqu'à la charge d'épreuve, et l'on pourra lire dans le Barême, aux colonnes *flèches par 100 kilogrammes*, une valeur suffisamment exacte du coefficient dit d'élasticité E.

Exemple. Une barre de 75/10 a pris une flèche totale de 60 millimètres, depuis 100 jusqu'à 500; la moyenne des flèches par 100 kilogr. est alors $\frac{60}{4}=15$. En suivant la ligne horizontale relative aux barres de 75/10, on voit que le nombre 15 est plus petit que 16,66, col. 6, correspondant à E = 20, et très-peu différent de 14,80, col. 7, correspondant à E = 22,5; d'où l'on voit immédiatement que E = 22 forts.

Exactement l'on a : $$\frac{22{,}5-x}{x-20}=\frac{15-14{,}80}{16{,}66-15};$$

d'où $$x=21{,}9.$$

2e *Manière.* On mesure encore l'élasticité par l'allongement α pour une tension de 100 kilogrammes par millimètre carré de la fibre extrême; α se déduit du cofficient E par la formule $\alpha=\frac{100{,}000{,}000}{\text{E}}$.

Ainsi, dans l'exemple précédent, on aurait :

$$x'=\frac{100{,}000{,}000}{21{,}900{,}000{,}000}=0{,}00456.$$

DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE LA TENSION DE LA FIBRE EXTRÊME AU MOMENT DE LA RUPTURE.

Cette tension est égale à la charge de la feuille, à cet instant, divisée par la centième partie de la charge d'épreuve donnée pour chaque dimension de feuille par le Barême (Formules sur la résistance des matériaux [1]).

Exemple. Une barre de 75/12 a cassé sous une charge de 1,400 kilogr., la charge d'épreuve étant pour cette dimension de 720, la tension de la fibre extrême au moment de la rupture est de

$$\frac{1{,}400}{7{,}20} = 194^{k}{,}4.$$

II. — ESSAI AU CHOC.

La colonne 9 donne les poids variables du mouton d'essai convenant à chaque dimension de feuille, lorsque la hauteur de chute est invariablement de $1^{m}{,}500$.

1. Il n'est sans doute pas nécessaire de dire que les formules de *la résistance des matériaux* ne s'appliquant qu'à des déformations assez faibles, *la tension des fibres extrêmes, à l'instant de la rupture*, calculée suivant ces formules, est une quantité fictive, il est vrai, mais utile et suffisante en pratique comme élément de comparaison.

C'est le lieu d'ajouter que les valeurs fournies par le Barême, qui n'a été construit que par des formules approchées, ne sont aussi que des éléments de comparaison.

BARÊME.

DIMENSIONS.		ESSAI A LA FLEXION.						ESSAI AU CHOC.
LARGEUR en millim.	ÉPAISSEUR en millim.	CHARGE d'épreuve en kil. — Cette charge produit sur la fibre extrême une tension de 100 kil. par mill. c.	Flèches par 100 kilog. correspondantes aux valeurs de 15, 17.5, 20, 22.5, 25 du coefficient d'élasticité. E = 15	E = 17.5	E = 20	E = 22.5	E = 25	POIDS en kilogr. du mouton d'essai tombant d'une hauteur de 1m,50.
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
75	6 ½	211	80,93	69,37	60,70	53,96	48,56	16 ¼
	7	245	64,78	55,54	48,59	43,20	38,87	17 ½
	7 ½	281	52,67	45,14	39,50	35,11	31,60	18 ½
	8	320	43,40	37,20	32,55	28,93	26,04	20
	8 ½	361	36,20	31,03	27,15	24,13	21,72	21
	9	405	30,47	26,11	22,86	20,31	18,29	22 ½
	9 ½	451	25,91	22,21	19,44	17,28	15,55	23 ½
	10	500	22,22	19,03	16,66	14,80	13,33	25
	10 ½	551	19,20	16,46	14,40	12,80	11,53	26
	11	605	16,66	14,29	12,52	11,11	10,01	27 ½
	11 ½	661	14,60	12,51	10,45	9,73	8,76	28 ½
	12	720	12,87	10,91	9,64	8,58	7,72	30
	12 ½	781	11,40	9,77	8,59	7,60	6,84	31
	13	845	10,13	8,69	7,60	6,76	6,07	32 ½
	13 ½	911	9,07	7,77	6,80	6,04	5,44	33 ½
	14	980	8,15	6,97	6,07	5,42	4,86	35
	14 ½	1051	7,27	6,23	5,45	4,84	4,36	36
	15	1125	6,59	5,65	4,94	4,39	3,95	37 ½
	15 ½	1201	5,97	5,11	4,48	3,98	3,58	39
90	9 ½	541	21,60	18,51	16,20	14,44	12,96	28 ½
	10	600	18,47	15,83	13,88	12,31	11,11	30
	10 ½	661	16,00	13,75	12,00	10,66	9,60	31 ½
	11	726	13,93	11,94	10,43	9,27	8,35	33
	11 ½	793	12,20	10,46	9,15	8,13	7,31	34 ½
	12	864	10,73	9,20	8,03	7,16	6,43	36
	12 ½	937	9,47	8,11	7,10	6,31	5,68	37 ½
	13	1014	8,47	7,23	6,33	5,64	5,06	39
	13 ½	1093	7,53	6,46	5,65	5,02	4,52	40 ½
	14	1176	6,73	5,77	5,06	4,49	4,05	42
	14 ½	1261	6,08	5,22	4,57	4,06	3,65	43 ½
	15	1350	5,49	4,70	4,11	3,66	3,29	45
	15 ½	1441	4,98	4,27	3,79	3,32	2,98	46 ½

ANNEXE N° 3.

Procès-verbal d'essai de 3 barres d'acier puddlé fondu, à ressorts 75/10.5, livrées pour échantillon de fabrication le 8 mars 1862, par MM. Petin et Gaudet.

M. David, représentant de MM. Petin et Gaudet, assistait aux essais.
Sur chaque barre remise on a coupé :
Une feuille de 1 mètre, destinée à l'essai de flexion;
Trois morceaux destinés aux essais par choc.
La trempe et le recuit ont été faits dans de bonnes conditions.

RÉSULTATS (*voir* le tableau qui suit).

DÉFORMATION PERMANENTE,	pas trop considérable pour toutes les feuilles.		
ÉLASTICITÉ,	sensiblement de $0^m,005$	—	—
RÉSISTANCE A LA RUPTURE PAR FLEXION,	plus de 200^k par mill. c.	—	—
RÉSISTANCE A LA RUPTURE PAR CHOC.	*Feuilles trempées,* plus de 3 coups de mouton,	—	—
	Feuilles non trempées, les essais n'ont pas paru nécessaires.		

RÉSUMÉ.

Les résultats fournis par les échantillons sont homogènes et satisfaisants.

En conséquence, il y a lieu de proposer la réception des aciers présentés.

TABLEAU DES ESSAIS.

DÉSIGNATION.

Les barres découpées à la longueur de 1 mètre, comme il a été dit, ont été cintrées avec flèche de $0^m,100$, trempées au rouge cerise, et recuites au bois brûlant comme cela est pratiqué d'ordinaire à l'atelier central.

Elles ont d'abord été soumises chacune à un effort de flexion préalable de 550 kil. correspondant à une tension de 100 kil. par millimètre carré, puis essayées à la machine à essayer les ressorts.

I. — ESSAIS A LA FLEXION.

BARRE N° 1, 75/10.5. — FEUILLE N° 1.

CHARGES en kilogr.	FLEXIONS en mill. totales.	FLEXIONS en mill. par 100 k.	PERTES de flèches.
0	0	14	»
100	14	14,5	»
500	72	»	»
100	14	15,5	0
600	87,5	»	»
100	15	17.5	1
700	105	»	»
100	18	20,5	4
800	125,5	»	»
100	24	23,5	10
900	149	»	»
100	36	38	22
1000	187	»	»
100	60		46
1100			

Cassure au milieu de la feuille.

BARRE N° 2, 75/10.5. — FEUILLE N° 2.

CHARGES en kilogr.	FLEXIONS en mill. totales.	FLEXIONS en mill. par 100 k.	PERTES de flèches.
0	0	14	»
100	14	14	»
500	70	»	»
100	14	15	0
600	85	»	»
100	14,5	19,5	1/2
700	104,5	»	»
100	19	24,5	5
800	129	»	»
100	29,5	36	15 1/2
900	165	»	»
100	53	51	39
1000	216	»	»
100	93	»	79
1100	»		»

Les supports commençant à glisser, l'expérience n'a pu être poussée plus loin.

BARRE N° 3, 75/10.5. — FEUILLE N° 3.

CHARGES en kilogr.	FLEXIONS en mill. totales.	FLEXIONS en mill. par 100 k.	PERTES de flèches.
0	0	14	»
100	14	14,5	»
300	43,5	»	»
400	59	15,5	»
500	74,5	»	»
100	14	15,5	0
600	91,5	»	»
100	16	17,5	2
700	117	»	»
100	27	25,5	13
800	159	42	»
100	55,5		41,5
900			

Les supports ayant commencé à glisser, l'expérience n'a pu être continuée.

De ce tableau résultent les chiffres ci-dessous, calculés au moyen du Barême :

Tension amenant la rupture..........	225	218	196
Élasticité — 1° Mesurée par l'inverse $\left(\frac{1}{E}\right)$ du coefficient dit d'élasticité.....	$\frac{1}{20.000.000.000}$	$\frac{1}{20.570.000.000}$	$\frac{1}{19.320.000.000}$
Élasticité — 2° Mesurée par l'allongement α de la fibre extrême sous une tension de 100 kil. par mill. carré.	0,005	0,0049	0,0052

II. — ESSAI AU CHOC.

L'essai au choc a eu lieu dans les conditions suivantes, fixées par le Barême :

Travail de choc par 20 mill. carrés de section de la feuille... 1 kgt
Poids du mouton.................................... 26 kil.
Hauteur de chute.................................... 1m,500
Écartement des points d'appui........................ 0m,100

		BARRE N° 1.	BARRE N° 2.	BARRE N° 3.
Nombre de coups supportés avant la rupture.	Pour l'acier trempé et recuit... 1re expérience.	Plus de 5 coups.	Plus de 5 coups.	Plus de 5 coups.
	Pour l'acier trempé et recuit... 2e expérience.	Plus de 5 coups.	Plus de 5 coups.	Plus de 5 coups.
	Pour l'acier non trempé..	»	»	»

ANNEXE N° 4.

SPÉCIFICATION GÉNÉRALE

Pour la fourniture des Essieux.

ARTICLE PREMIER.

Définition. La présente spécification a pour objet de compléter les indications des dessins et les clauses particulières des traités.

Elle est obligatoire comme les traités eux-mêmes.

ARTICLE SECOND.

Dimensions. Les dimensions seront en tout point conformes aux dessins remis à l'appui de la commande.

Les parties devant rester brutes seront exactement forgées aux cotes des dessins.

Les parties destinées à être tournées auront un excédant d'épaisseur dont la limite minimum et maximum est indiquée au dessin.

Le dessin indique également la tolérance de longueur à chaque extrémité.

ARTICLE TROISIÈME.

Provenance des matières. Mode de fabrication. La provenance et la qualité des matières premières, ainsi que le mode de fabrication, devront toujours être agréés par l'Ingénieur chef du matériel avant la mise à exécution des commandes.

Néanmoins, l'acceptation ci-dessus spécifiée ne pourra diminuer en rien la garantie imposée au fournisseur.

ARTICLE QUATRIÈME.

Surveillance de la fabrication. Pendant l'exécution des traités ou commandes, l'entrée des ateliers du fournisseur sera toujours accordée aux agents de la Compagnie chargés de surveiller la fabrication.

La Compagnie pourra toujours faire procéder à toutes les épreuves qui lui paraîtraient nécessaires pour s'assurer de la qualité des matières. Ces épreuves seront à la charge du fournisseur.

ARTICLE CINQUIÈME.

Marque de fabrique. La marque de fabrique du fournisseur sera fortement poinçonnée à chaud aux deux extrémités du corps de l'essieu, dans la partie qui ne doit pas être tournée et à la place indiquée par le dessin.

ARTICLE SIXIÈME.

Épreuves de réception. Outre les épreuves ci-dessus, la Compagnie conserve le droit, à la livraison dans ses magasins, de faire les essais qu'elle jugera nécessaires pour la réception provisoire des lots d'essieux qui lui seront fournis.

Les essais de réception ont lieu à raison d'une épreuve par lot de vingt-cinq essieux livrés, et les frais auxquels ils donnent lieu sont réglés par les traités ou commandes.

Les essieux choisis pour essais sont toujours ceux qui présentent l'aspect le moins satisfaisant.

L'essieu soumis à l'essai est placé sur deux points d'appui, établis aussi solidement que possible, et distants l'un de l'autre de un mètre cinquante centimètres ($1^m,50$).

Sur son milieu on laisse tomber, d'une hauteur de trois mètres soixante centimètres ($3^m,60$), un mouton du poids de cinq cents kilogrammes (500^k), produisant à chaque chute un travail de choc de 1,800 kilogrammètres.

Pour les essieux en fer de cent vingt millimètres au corps, les chutes du mouton sont répétées jusqu'à ce qu'on obtienne une flèche de vingt-cinq centimètres ($0^m,25$), mesurée normalement à une corde initiale de un mètre cinquante centimètres ($1^m,50$), déduction faite de la conicité de l'essieu.

Le nombre de coups de mouton sous lesquels se sera produite la flèche de vingt-cinq centimètres ($0^m,25$), devra toujours être supérieur à trois.

L'essieu ainsi plié de vingt-cinq centimètres doit pouvoir se redresser complétement, sans qu'il se manifeste ni crique ni fente longitudinale.

Lorsque les dimensions des essieux sont autres que celles indiquées ci-dessus, les conditions d'épreuves sont modifiées de telle sorte que l'allongement et le raccourcissement des fibres extrêmes restent les mêmes.

Dans le cas où l'essieu pris pour essai ne satisferait pas aux conditions ci-dessus, le lot entier de vingt-cinq, auquel il appartient, sera refusé.

Outre ces conditions de réception, la Compagnie pourra refuser tous les essieux présentant des défauts de fabrication, reconnus soit à la livraison, soit au moment de la mise en œuvre, de même qu'elle refusera tous ceux qui ne seraient pas conformes aux plans remis.

ARTICLE SEPTIÈME ET DERNIER.

Garantie. Après la réception provisoire, le fournisseur reste encore garant et responsable de tous défauts de qualité et de fabrication qui se révéleraient pendant un parcours de quatre-vingt mille kilomètres pour les essieux droits, et quarante-mille kilomètres pour les essieux coudés, quelle que soit la date de livraison, sauf autre stipulation sur la commande. Il devra en conséquence remplacer à ses frais, et par simple échange, tous essieux qui seraient mis hors de service par suite de ces défauts pendant le délai de garantie.

ANNEXE N° 5.

TABLEAUX GRAPHIQUES.

Les tableaux graphiques, planche 26, figures 1, 2 et 3, donnent à la simple inspection, pour certains essais, les principaux résultats obtenus.

1° PARCOURS DES ESSIEUX COUDÉS.

Dans la figure 1 sont représentés, pour chacune des catégories de locomotives, et à l'échelle de *trois* millimètres pour 10,000 kilomètres, les parcours des essieux coudés, en fer ou acier des diverses provenances.

Les parcours des essieux rompus forment l'aire couverte en *hachures serrées croisées;* les parcours des essieux continuant le service forment l'aire couverte en *hachures écartées;* pour les essieux présentant un commencement de rupture et conservés après application de frettes, on *a croisé les hachures écartées* sur le parcours effectué depuis la constatation de l'indice de rupture.

Les essieux sont d'ailleurs classés par *systèmes de locomotives*, par *provenance* et par *nature* (fers et aciers), ce qui permet de juger à simple vue quelles sont, pour chaque cas, la meilleure provenance et la meilleure nature d'essieux.

2° ESSAIS DES ESSIEUX AU MOUTON.

Les résultats des essais au mouton, pour réception d'essieux droits, sont représentés par la figure 2, dans laquelle on a porté en ordonnées, et à l'échelle de 5 millimètres par 10,000 kilogrammètres, le produit effectué du poids du mouton (500 kil.), et de la hauteur de chute (3^m,60) par le nombre de coups jusqu'à rupture.

Après avoir tracé les ordonnées individuelles de chaque essieu, on a tiré, à l'ordonnée 14,400 kilogrammètres, la ligne A B représentant le travail *minimum* que, d'après la spécification, doit supporter l'essieu en essai sans montrer aucun défaut.

Dès lors :

L'aire *en hachures serrées* indique le travail absorbé en kilogrammètres pour produire le pli avec redressement; l'aire superposée *en hachures écartées* indique le travail supplémentaire jusqu'au moment où des criques se sont déclarées; les *hachures écartées croisées*, le travail absorbé par chaque essieu depuis la déclaration des criques jusqu'à la rupture.

L'aire *en hachures serrées croisées* est relative aux essieux qui n'ont pas satisfait à la double condition du cahier de charges :

Condition de *résistance* vive (14,400 kilogrammètres);

Condition *de déformation* (supporter un pli et un redressement); tout en ayant quelquefois absorbé un travail supérieur à 14,400 kilogrammètres.

Les essais sont toujours conduits de la manière suivante :

Après avoir opéré le premier pli et le premier redressement, on continue de faire tomber le mouton jusqu'à imprimer une flèche inverse égale à la première.

On retourne alors l'essieu pour le redresser complétement. S'il a résisté, l'opération est continuée, sur les données précédentes, jusqu'à rupture.

3° ESSAIS DES ACIERS A RESSORTS.

La figure 3 représente :

1° à gauche,

Deux spécimens de la représentation graphique qu'on dresse habituellement pour l'essai de chaque barre : celui de gauche relatif à l'une des meilleures barres, celui de droite relatif à l'une des plus mauvaises;

2° à droite :

Le résumé des principaux résultats fournis par chacune des barres essayées, dans la période 1856-1862.

Tous les essais sont effectués conformément à la spécification. Ainsi

les essais de flexion sont fondés sur la relation $\left(t = \frac{1}{\alpha} a\right)$, étendue jusqu'à rupture, entre la tension t et les allongements a.

Explication de la partie gauche de la figure 3.

Essais de flexion. Les hauteurs des rectangles, *hachures croisées*, figurent, à l'échelle de 3 millimètres par 10 kilogrammètres, la tension par millimètre carré de la fibre extrême pour laquelle l'élasticité commence à s'altérer. *D'après la spécification, cette tension doit être au moins de* 100 *kilogrammes.*

Les hauteurs des rectangles, *hachures claires*, figurent, à la même échelle de 3 millimètres par 10 kilogrammes, la tension par millimètre carré amenant la rupture. *D'après la spécification, cette tension doit être au moins de* 200 *kilogrammes.*

Les bases des rectangles, *hachures croisées*, représentent en vraie grandeur l'allongement par mètre de la fibre extrême sous la tension pour laquelle l'élasticité commence à s'altérer. *Suivant la spécification, cet allongement doit être au moins de cinq millièmes* (5/1,000).

Les bases des rectangles, *hachures claires*, représentent aussi en vraie grandeur l'allongement *élastique* par mètre de la fibre extrême sous la tension qui a produit la rupture. *Suivant la spécification, cet allongement doit être au moins de dix millièmes* (10/1,000).

D'après ce qui précède, les surfaces des rectangles représentent :

L'une, le double de la *résistance vive élastique* correspondant à la limite d'élasticité. *Des conditions exigées par la spécification il résulte implicitement : que cette surface doit être au moins de* 150 *millimètres carrés.*

L'autre, le double *approximativement* de la *résistance vive élastique* jusqu'à la rupture. *Des conditions exigées par la spécification il résulte implicitement que cette surface doit être au moins de* 600 *millimètres carrés.*

Essais au choc. Les hauteurs des rectangles, *hachures croisées*, représentent, à l'échelle de 5 millimètres par coup, la moyenne des coups de mouton supportés avant la rupture, dans les divers essais de morceaux *trempés* d'une même barre. *D'après la spécification, le nombre de coups doit être au moins de trois.*

Les hauteurs des rectangles, *hachures claires*, donnent la même moyenne de coups supportés par les morceaux *non trempés.*

La largeur des rectangles est arbitraire et n'a aucune signification.

En définitive, un acier est d'autant meilleur que les côtés et surfaces des quatre rectangles, représentant les résultats obtenus dans les essais d'une même barre, sont plus grands.

Explication de la partie droite de la figure 3.

En considérant la ligne MN comme abscisse, on a porté en ordonnées négatives :

1° A l'échelle de 1 millimètre par 10 kilogrammes, courbe *ab* :

Les tensions par millimètre carré amenant la rupture.

2° En vraie grandeur, courbe *cd* :

Les allongements par mètre de la fibre extrême sous une tension de 100 kilogrammes.

En ordonnées positives :

1° A l'échelle de 3 millimètres par kilogrammètre, courbe *ef*: Les résistances vives élastiques jusqu'à la limite d'élasticité (commencement de la déformation permanente).

2° A la même échelle de 3 millimètres par kilogrammètre, courbe *gh*:

Les résistances vives élastiques jusqu'à la rupture.

En considérant la ligne M' N' comme abscisse, on a porté en ordonnées négatives, courbe *ik* :

A l'échelle de 5 millimètres par coup de mouton, le nombre de coups de mouton supportés avant la rupture par des morceaux trempés.

Généralement :

La sécurité qu'offre un acier se mesure par la distance qui sépare les deux courbes *ef* et *gh*.

Un acier est d'autant meilleur que la distance qui sépare la courbe *gh* de la courbe *ik* est plus petite.

CATALOGUE

DES

OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Agriculture et Géologie.

Affaissement du sol et envasement des fleuves, survenus dans les temps historiques, par M. de Laveleye.

Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.

Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube, par les inspecteurs de l'agriculture.

Agriculture (Cours de M. Gasparin).

Bulletins de la Société impériale et centrale d'agriculture.

Cartes agronomiques des environs de Paris, et cartes géologiques et hydrologiques de la ville de Paris, par M. Delesse.

Comité central agricole de la Sologne (Procès-verbal de la séance du 22 septembre 1861).

Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.

Éléments des sciences physiques appliquées à l'agriculture, par M. Pouriau.

Etudes géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.

Etudes géologiques sur le Jura Neuchâtelois, par MM. Désor et Gressly.

Etude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.

Formations volcaniques du département de l'Hérault, dans les environs d'Agde et de Montpellier, par M. Cazalis de Fondouce.

Guide du draineur, par M. Faure.

Géologie du Pérou, par M. Crosnier.

Géologie du Chili par M. Crosnier.

Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.

Irrigation ; son influence sur l'agriculture, et des moyens d'y pourvoir, par M. J.-A. Krajembrenk, ingénieur à Java.

Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.

Maladie de la vigne (Rapport sur la) par M. Marès.
Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.
Note sur les puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Trélat.
Progrès de l'Agriculture moderne dans la plaine des Fossés, par M. le marquis de Poncis.
Rapport sur les eaux de la ville de Liége, par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Recherches sur les eaux employées dans les irrigations, par MM. Salvetat et Chevandier.
Soufrage économique de la vigne, par M. H. Marès.
Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.
Tarif et prix du règlement des travaux de jardinage, par M. Lecoq.

Chemins de fer.

Accidents, moyens pour les prévenir, notes dans le journal *le Brevet d'invention*, par M. Jules Caudry.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Emile With.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.
Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Album des chemins de fer, par M. Jacquin.
Améliorations à introduire dans l'exploitation des chemins de fer, par M. Bordon.
Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.
Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. M. Grivel.
Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruère.
Bâtiments de chemins de fer, par M. Chabat.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi, remis par MM. Bellier et Bommard.
Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.
Chariot roulant sans fosse pour la manœuvre des wagons et machines locomotives dans les gares de chemin de fer, par M. Sambuc.
Chemins de fer d'Angleterre en 1851. Matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration, législation et statistique, par M. Le Chatelier.
Chemin de fer de Gray à Verdun, par M. Henri Fournel.
Chemin de fer hydraulique. Distribution d'eau et irrigations, par M. L.-D. Girard.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. Emile et Alexis Barrault.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain, à Nieuport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemin de fer du Havre à Marseille par la vallée de la Marne, par M. Henri Fournel.
Chemins de fer suisses (Rapport sur les).
Chemin de fer de Marseille au Rhône et à Avignon (Rapport de l'Assemblée générale du).
Chemin entre Vitry et Gray, par M. Brière de Mondétour.

Chemin de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneux.
Chemin de fer de Victor-Emmanuel (Cahier des charges), par M. Capuccio.
Chemins de fer à courbe de petits rayons (Système applicable aux) par M. Aubry.
Chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans (Les), par M. Audiganne.
Chemin de fer de la Croix-Rousse, par MM. Molinos et Pronnier.
Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix.
Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. de Fontenay.
Comptes rendus des opérations du chemin de fer de l'Etat belge.
Considérations sur les serre-rails et table-rails, par M. Barberot.
Consultations sur des questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer.
Croisements des voies par M. Le Cler.
Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.
Electricité (l') et les chemins de fer, par M. Fernandez de Castro.
Electricité (l') et les chemins de fer, par M. Emile With.
Electro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Enquête sur les moyens d'assurer la régularité et la sécurité de l'exploitation sur les chemins de fer.
Essieux pour les chemins de fer, par M. Benoît-Duportail.
Eclissage, nouveau système, par M. Desbrière.
Frein automoteur (Rapport), par MM. Robert, Combes et Couche.
Frein dynanométrique, par M. Chuwab.
Frein hydraulique, par M. Meller jeune.
Frein instantané pour chemin de fer, par M. Tourasse.
Géométrie des courbes et gravages des voies de chemins de fer, par M. V. Pron.
Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives, par MM. Le Chatelier, E. Flachat, J. Petiet et C. Polonceau.
Guide commercial à l'usage des chefs de gares et stations, par M. Petit de Coupray.
Histoire financière des chemins de fer français. par M. de Laveleye.
Indicateurs électriques destinés à compléter la sécurité des trains sur les chemins de fer, par M. Regnault.
Locomotive à grande vitesse, avant-train mobile, par M. Robert d'Erlach.
Locomotive à poids utile, pour le passage des Alpes et des Pyrénées sur les rampes de 5 p. 0/0, par M. Cernuschi.
Locomotive de M. Haswell (Note descriptive sur une), par M. J. Gaudry.
Manuel Roret (construction des chemins de fer), par M. Emile With.
Matériel des chemins de fer (De la réception du), par M. Benoit-Duportail.
Matériel des chemins de fer. Documents officiels, par MM. Valério et de Brouville.
Matériel roulant permettant la construction des chemins de fer à petites courbes et fortes rampes, par M. Edmond Roy.
Matériel roulant des chemins de fer, par M. Nozo.
Matériel roulant des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ligne du Bourbonnais, remis par M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Mémoire sur un système de wagons et sur la composition des trains.
Nouveau système de pose de rails, per MM. Prestat, Thibaut et Constant.
Programme de concours pour une machine pour le chemin de fer du Semmering. Consul d'Autriche.

Pentes et rampes, par M. Léveillé.
Proposition de la ville d'Orléans (sur une modification du raccordement).
Rapport sur les chemins de fer Neuchâtelois, par M. de Pury.
Rapport sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, par M. Prisse.
Rapport des Commissions sur l'application du fer dans la construction des chemins de fer, par M. Hodgkinson.
Rapport du conseil d'administration du chemin de fer Hainaut et Flandres.
Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord, pour l'amélioration des voies, par M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées.
Rapports présentés par les administrations de chemins de fer aux assemblées générales.
Résistance dans le passage des courbes dans les chemins de fer, par M. Wissocq, ingénieur des mines.
Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Roues pleines en tôle, par M. Amable Cavé.
Signaux fixes (pose et manœuvre) dn chemin de fer de Lyon, par M. Marié.
Solution de la question des chemins de fer, par M. Poujard'hieu.
Sur les chemins de fer de la Confédération germanique, par M. Emile With.
Télégraphe électrique, par M. Victor Bois.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).
Traité pratique de la construction des chemins de fer, par M. Adhémar,
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Traversée des Alpes par un chemin de fer, par M. Eugène Flachat.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.

Chimie et Physique.

Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils fumivores, par M. Marion Fauvel et comp.
Assainissement de la savonnerie de MM. Ariot et comp., par M. Félix Foucou.
Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.
Chauffage et ventilation de la nouvelle Force, à Paris, par M. Ph. Grouvelle.
Chimie industrielle (Précis de) (texte et planches ensemble), par M. Payen.
Coloration et conservation des bois. Réponse au Rapport des experts, par M. Gardissal.
Combustion de la fumée et des gaz combustibles; par M. Petitpierre Pellion,
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois (Notice), par MM. J.-B. Perin et Meyer d'Uslar.
Conservation des bois, par M. Jousselin.
Considération chimique et pratique sur la combustion du charbon, par M. Williams.
Conservation des bois, procédé de MM. Legé et Fleury-Perronnet.
De l'éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry père.
Dictionnaire des analyses chimiques, par MM. Violette et Archambault.
Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des incrustations salines, par M. Guinon.
Emaux colorés sur couches minces à la peinture ordinaire des panneaux de voitures de chemins de fer, par MM. Mercier et de Fontenay.

Construction et Travaux publics.

NAVIGATION, VOIRIE.

Percement de l'isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question, par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond).
Percement de l'isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Planchers et poutres en fer, par M. Cézar Jolly.
Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en foñte de Villeneuve-Saint-Georges, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Pétiet.
Pont du Rhin à Kehl, par M. Vuigner.
Rapport sur les portes en fonte de fer établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu ; par M. Hodgkinson.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des bétons agglomérés à base de chaux, par M. François Coignet.
Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.
Tables de coefficients, par M. Lefrançois.
Théorie pratique, et architecture de ponts, par M. Brunell.
Traité sur l'art de faire de bons mortiers, par M. Rancourt.
Traité de consolidation des talus, routes, canaux et chemins de fer, par M. Bruère.
Travaux hydrauliques de la France et de l'étranger, par M. Brocchieri.
Travaux hydrauliques maritimes, par MM. Latour et Gassend.
Travaux exécutés pour améliorer le régime des eaux sur les rivières et le canal de l'Ourcq, par M. E. Vuigner.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (avant-projet d'un), par M. Thomé de Gamond.

Divers.

OUVRAGES DÉPAREILLÉS.

Alimentation en eau de Seine de la ville de Paris, par M. Aristide Dumont.
Almanach-annuaire du bâtiment, par M. Sageret.
Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Aide-mémoire des ingénieurs, par M. Richard.
Appareil de plongeur le Scaphandre de M. Cabirol.
Appareils photographiques, par M. Charles Brooke.
Avant-projet de chemin de fer pour le Simplon, par M. Jacquemin.
Bibliographie des ingénieurs et des architectes.
Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une), par M. Mathias.
Calcul des arcs métalliques, par M. Albaret.
Canal Cavour. Halian irrigation canal Company.
Catalogue des collections du Conservatoire des Arts et Métiers.
Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur, par M. Ortolan.

Composition de l'appareil spécial de certains échinodermes et sur le genre protophite, par M. Ebray.
Conquête de l'Afrique par les Arabes, par M. Henri Fournel.
Conservation des grains par l'ensilage, par M. Doyère.
Construction et emploi du microscope, par M. Charles Chevalier.
Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.
Cours de mathématiques à l'usage des candidats à l'école centrale des arts et manufactures, par M. de Comberousse.
Cours complet de topographie et de géodésie, par M. Benoit.
De la tourbe, étude sur les combustibles employés dans l'industrie, par Challeton.
Dérivation de la Somme-Soude et du Morin, par M. Dugué.
Des voies navigables en Belgique, par M. l'inspecteur Vifquain.
Dictionnaire technologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.
Docks à Bordeaux, par M. Maldant.
Documents sur les eaux de Paris.
Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.
Ecoles d'arts et métiers d'Angers (Notice), par M. Guettier.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Etoiles doubles, par M. Yvon-Villarceau.
Etudes sur la navigation, par M. Bounican.
Etude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier, par MM. de Robernier, Porro Félix, et Porro Ignace.
Excursion en Angleterre et en Ecosse, par M. Burel.
Exploration du Sahara et du continent Africain, par Gérard.
Exposition universelle. Une dernière annexe, par M. Andraud.
Fondation d'un collége international à Paris, à Rome, à Munich et à Oxford, par M. Eugène Rendu.
Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.
Formules nouvelles pour calculer l'épaisseur de la culée dans les voûtes plein-cintre, anse de panier, et arcs de cercle, par M. Marguet.
Géométrie descriptive (Eléments), par M. Babinet.
Guide du photographe, par M. Charles Chevalier.
Guide-Manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
L'art du briquetier, par M. Challeton.
La Russie et ses chemins de fer, par M. Emile Barrault.
L'ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.
Les chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans, par M. Audiganne.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Ligne de télégraphe, par M. Vérard.
Manuel calculateur du poids des métaux. par Van Alphen.
Manuel du conducteur et de l'agent voyer, par M. Vauthier.
Manuel aide-mémoire du constructeur de travaux publics et de machines, par M. Emile With.
Marques de fabriques. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault.
Matières textiles, par M. Alcan.
Méthodes photographiques, par M. Chevalier.

Modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics qui figuraient à l'Exposition universelle de Londres en 1862.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Notice sur J.-P.-J. d'Arct.
Notice sur les travaux de M. Lebon d'Humbertin, inventeur du thermo-lampe, par M. Gaudry.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Notice sur Saint-Nazaire.
Notice sur le pont suspendu de Castelfranc, système Cadiat et Oudry.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.
Pierre asphaltique du Val-de-Travers, par M. Henri Fournel.
Portefeuille des principaux appareils, machines, instruments, par M. Chaumont.
Projet d'un port de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Projet de budget des dépenses d'une compagnie de chemin de fer, par M. Frédéric Hubert.
Première année au collége, par M. Gardissal.
Projet d'une ligne télégraphique continentale entre la France et les Etats-Unis, par L'Europe et l'Asie, par M. P. Jousselin.
Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.
Rapport de M. Alcan sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heimann.
Rapport du Jury international de 1855.
Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.
Recherches sur la détermination du prix de revient, par M. Teisserenc.
Registre des chevaux pur sang.
Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. P. Guiraudet.
Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Suppression du canal Saint-Martin et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.
Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rit et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier, par M. Barman, ancien membre plénipotentiaire, colonel fédéral.
Table donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais des chemins de fer, canaux et routes, par M. Hugues.
Table de Pythagore de 1 à 1,000,000, par M. Griveau.
Tableaux destinés à remplacer, sous un très-petit volume, la plupart des tables numériques, par M. Bouché.
Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Technologiste (Journal).
Traversée des montagnes avec l'air comprimé dans les tunnels métalliques, par M. Berrens.
Travaux de la Commission française sur l'industrie des Nations (Exposition universelle de 1851).
Traité pratique de boulangerie, par Roland.
Un exemplaire de la collection d'organes de machines donnés au cours de M. Le-

cœuvre ; 2° Deux années de vacances des élèves de deuxième et de troisième année, par M. Robert.

Vade-Mecum administratif de l'entrepreneur des ponts et chaussées, par M. Endres.

Mécanique.

Appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemins de fer, par M. Castor.

Barrage hydropneumatique, par M. Girard.

Bâtiments à vapeur. Tenue du journal, par M. Petiet.

Calculs sur la sortie de vapeur dans les machines-locomotives, par M. Janneney.

Calculs sur l'avance du tiroir, les tuyaux d'échappement, les conduits de vapeur et de fumée, dans les machines-locomotives, par MM. E. Flachat et Petiet.

Chariots roulants sans fosse, par M. Sambuc.

Construction des boulons, harpons, écrous, clefs, rondelles, goupilles, clavettes, rivets et équerres ; suivi de la Construction de la Vis d'Archimède ; par M. Benoit Duportail.

Contre-poids (Des) appliqués aux roues motrices des machines-locomotives, par MM. Couche et Resal.

Distribution d'eau de 300 pouces pour la ville de Toulouse (Projet), par M. J. Guibal.

Emploi de la houille dans les locomotives et sur les machines à foyer fumivore du système Tinbrinck, par M. Couche.

Eléments théoriques et pratiques de la filature du lin et du chanvre, par M. Choimet.

Equilibre des voûtes. Examen historique et critique des principales théories, par M. Poncelet.

Engrenage à coin, par M. Minotto.

Etudes sur la résistance des poutres en fonte, par M. Guettier.

Expériences des piliers en fonte, par M. Hodgkinson.

Force motrice produite par la dilatation de l'air et des gaz permanents, par M. Montravel.

Foyer fumivore, par M. de Fontenay.

Foyer fumivore de M. Tenbrinck.

Graissage à l'huile appliqué aux véhicules des chemins de fer, par M. Dormoy.

Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, par MM. Grouvelle et Jaunez.

Locomotive de montagne, par M. Beugniot.

Loi mathématique de l'écoulement et de la détente de la vapeur, par M. Carvalho.

Machines à vapeur fixes ou locomobiles (Recueil de), de M. Cumming.

Machines à disques, par M. Rennie.

Machine de Marly, par M. Charles Priès.

Machines à vapeur (Traité élémentaire et pratique), par M. Jules Gaudry.

Machine avec générateur à combustion comprimée (de M. Pascal) (Rapport sur la), par M. Colladon.

Machine à vapeur rotative du système Chevret et Seyvon.

Manége Pinet (Rapport sur le), par M. Pinet.

Mécanique pratique, leçon par M. A. Morin.

Mines et Métallurgie.

Procédés volumétriques de dosage du zinc, et d'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Produits et divers procédés de la manufacture d'acier fondu de M. Friedrich Krupp.
Richesse minérale de l'Algérie, par M. Henri Fournel.
Situation de l'industrie houillère, par M. A. Burat.
Sondage à la corde (Notice), par M. Le Chatelier.
Sondage à la corde (Notice), par M. Ch. Laurent.
Sondes d'exploration (Description et manœuvre des), par M. Ch. Laurent.
Théorie de la trempe, par M. Jullien.
Traité de la fabrication de la fonte et du fer, par MM. Flachat, Petiet et Alexis Barrault.
Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer, par M. Jullien.
Traitement des minerais de cuivre (Sur un nouveau procédé de), par M. Petitgand.

Ouvrages Périodiques.

Album encyclopédique des chemins de fer, par MM. Boise et Thieffry.
Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des Ponts et Chaussées.
Annales des Mines.
Annales de la Construction, par M. Oppermann,
Annales Télégraphiques.
Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées.
Annales du Génie civil.
Annales de la Société des Ingénieurs industriels de Madrid.
Annuaires de la Société des anciens élèves des Ecoles impériales d'arts et métiers.
Bâtiments de chemins de fer, par Chabat.
Bulletins de la Société d'encouragement.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1861.
Bulletins de l'institution *of Mechanical Engineers*.
Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse.
Bulletins de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Presse scientifique des deux Mondes.
Bulletins de la Société industrielle d'Amiens.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins des Ingénieurs suédois.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Etienne.
Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Bulletins de la Société des architectes et ingénieurs du royaume de Hanovre.
Gazette des Bâtiments, par M. Morel.
Génie industriel, par MM. Armengaud.
Journal *la Célébrité*.
Journal des Mines,
Journal le *Crédit minier*.
Journal *l'Invention*, par M. Desnos.
Les Mondes, Revue hebdomadaire des sciences par M. l'abbé Moigno.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.

Moniteur des travaux publics.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille économique des Machines, par M. Oppermann.
Portefeuille de l'Ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau.
Publications administratives, par M. Louis Lazare.
Revue d'Architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des Mines et de la métallurgie.
Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.
The Engineer (Journal).

Statistique et Législation.

Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M Béchard.
Almanach et Annuaire des Bâtiments (1842).
Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.
Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Etudes sur les lois actuelles), par M. Damourette.
Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Emile Barrault.
Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis des législations françaises et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.
Bulletin de statistique des chemins de fer (septembre 1852).
Code des chemins de fer, par M. Cerclet.
Colonies agricoles (Etudes sur les), mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.
Complément des voies de communication dans le centre de la France, par M. Stéphane Mony.
Comptes rendus des opérations des chemins de fer de l'État belge pendant les années 1840, 1842 et 1844 à 1861.
Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.
Crédit foncier et agricole dans les divers États de l'Europe, par M. Josseau.
Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.
Communications postales entre la France et l'Angleterre.
Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).
Comptes rendus des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.
Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise, par M. Henri Fournel.
Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).
Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.
Douanes. Tableau général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères.
Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Gardissal.
Etudes sur les voies de communication, par M. Teisserenc.
Etude sur le Cadastre des terres, sur les Hypothèques et l'Enregistrement des actes publics et sur la Péréquation de l'impôt foncier.. — Projet de loi sur un dépôt général de la foi publique, par MM. de Roberniers, Ignace et Félix Porro.
Etude sur l'instruction industrielle, par M. Guettier.

Exposition de Londres de 1851. Compte rendu, par M. Lorentz.
Instructions pratiques à l'usage des Ingénieurs, par M. Armengaud aîné.
Loi des Etats-Unis sur les Inventions, par M. Emile Barrault.
Mesures anglaises et mesures françaises, par M. Camille Tronquoy.
Moyens financiers (Précis sur les chemins de fer de la France), par M. Cronier.
Organisation de l'industrie. Projet des Sociétés de papeterie en France, par MM. Ch. Callon et Laurens.
Organisation de l'Ecole Polytechnique et pour les Ponts et Chaussées, par M. Vallée.
Organisation légale des cours d'eau, par M. Dumont.
Organisation de la propriété intellectuelle, par M. Jobart.
Observation sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des Ingénieurs civils.
Observation sur le recrutement du corps des Ponts et Chaussées, par la Société des Ingénieurs civils.
Patent Office (Rapport 1854).
Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.
Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.
Projet de loi sur les brevets.
Rachat des chemins de fer par l'Etat, par M. Poujard'hieu.
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport sur les patentes des Etats-Unis, par le major Poussin.
Rapport adressé à M. le ministre des travaux publics en Belgique, et les chemins de fer en Belgique, par M. Teisserenc.
Rapport sur la loi organique de l'enseignement.
Rapport sur l'inondation souterraine qui s'est produite dans les quartiers nord de Paris, par MM. Delesse, Beaulieu et Yvert.
Situation des lignes télégraphiques belges en 1859, 1860 et 1861, par M. Vinchen.
Statistique de la France, par M. le Ministre du commerce.
Statistique des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.
Statistique minéralogique et métallurgique, par M. Henri Fournel.
Tableaux sur les questions d'intérêts et d'assurances, par M. Eugène Péreire.
Tables logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements par M. Eugène Péreire.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Traité de la perception des droits de navigation et de péage, par M. Granger.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet.

TABLE DES MATIÈRES.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cᵉ, 30, rue Mazarine.

2me Série.

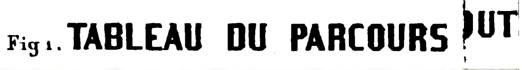
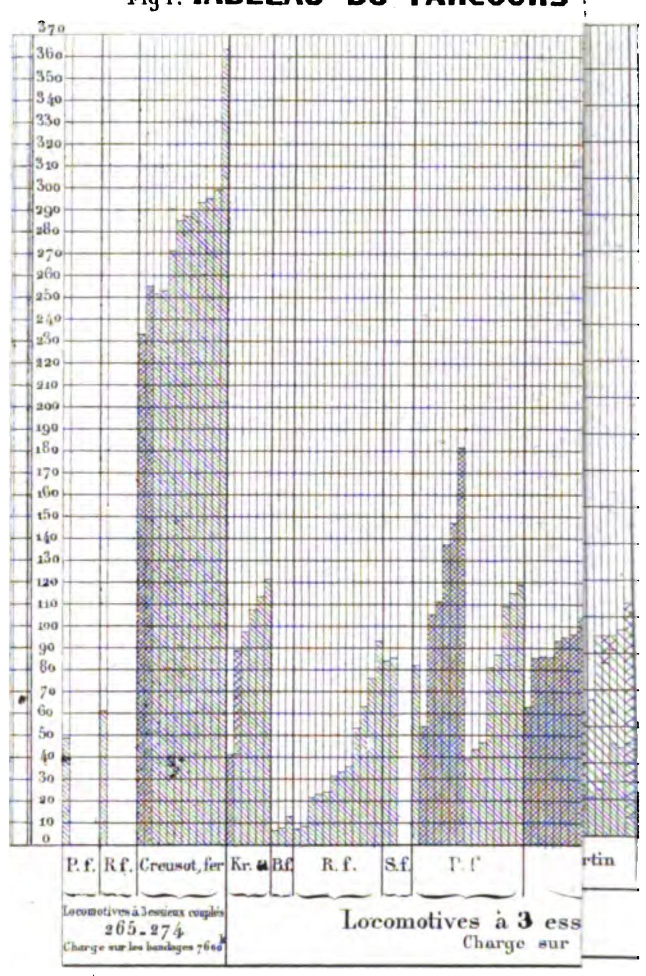


Fig 1. **TABLEAU DU PARCOURS**



nde.

P. f.	———	Petin et Gaudet	—	fer
R. f.	———	Russery Lacombe	—	fer
R. a. n.	———	— d°	———	Acier naturel d'Allevard
Cr. f	———	Creusot	———	fer
Kr. a.	———	Krupp	———	Acier

